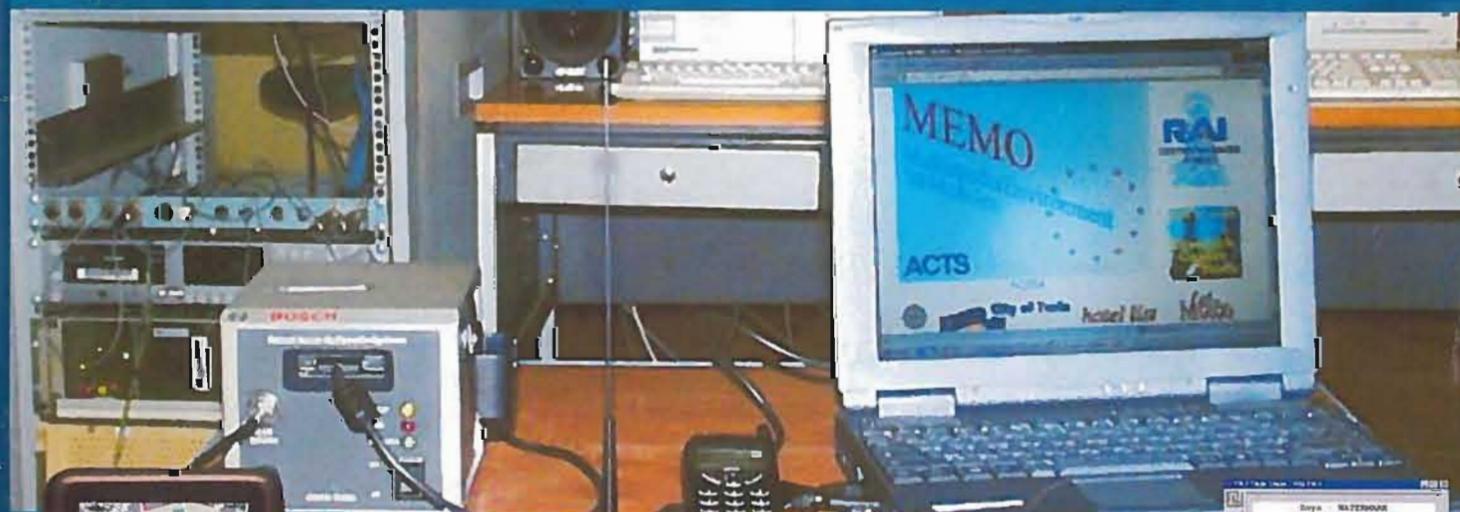
ISBN 88-397-1053-1

Sped. in A.P. - 45% art.2 comma 20/b legge 662/96 - Filiale di Firenze

ANNO XLVIII
NUMERO 1
APRILE 1999
£ 10.000

RAI·ERI

- Il DVD: un supporto versatile per video, audio e dati
- Il progetto RAINET nella rete dei collegamenti televisivi della RAI
- Servizi multimediali e interattivi nel DAB

Anno XLVIII
N°1 Aprile 1999

da pag. 3 a pag. 72

RIVISTA QUADRIMESTRALE A CURA DELLA RAI

Direttore responsabile
Gianfranco Barbieri

Comitato direttivo
Maurizio Ardito, Renato Capra, Mario Cominetti, Paolo D'Amato

Redazione
Renato Capra, Gemma Bonino

Centro Ricerche Rai
Corso Giambone, 68 - 10135 Torino, Tel.(011)8800 (int.3132)

Gestione prodotto
Rai Editoria Periodica e Libraria
Viale Mazzini, 14 00195 Roma

Distribuzione in edicola
SODIP "Angelo Patuzzi" S.p.A.
via Bettola 18 - 20092
Cinisello Balsamo, Milano
Tel. (02) 660301
Fax (02) 66030320

Gestione abbonamenti e numeri arretrati
Licosa Via Duca di Calabria, 1/1
50125 Firenze
Tel. 055/645415
Fax 055/641257

Una copia	£ 10.000
estero	£ 17.000
Copia arretrata	£ 20.000
estero	£ 27.000
Abb. annuale	£ 30.000
estero	£ 50.000

Versamenti Licosa - Firenze
ccp.343509

Spedizione in abb. postale 45%

Reg. alla cancelleria del tribunale c.p. di Torino al n.494 in data 6-11-1951

Progetto grafico
Franco De Vecchis

Stampa:
Stamperia Artistica Nazionale (Torino)

Il DVD: un supporto versatile per video, audio e dati

M. Barbero, E. Riva*

*Ing. Marzio Barbero del Centro Ricerche RAI - Torino e ing. Ezio Riva del CSI Piemonte.

L'articolo è stato redatto presso il Centro Ricerche RAI, nel quadro del periodo conclusivo del Master in Telematica e Applicazioni Multimediali organizzato dal COREP di Torino. Dattiloscritto pervenuto alla Redazione il 5 novembre 1998.

Il Digital Versatile Disc è il nuovo supporto digitale per i mercati dell'intrattenimento domestico e del Personal Computer. La capacità di memorizzazione del DVD è di gran lunga superiore a quella del Compact Disc grazie al miglioramento delle caratteristiche fisiche del medium e alla completa revisione del formato dati. Strumenti integrati e di semplice utilizzo ed un'attenta pianificazione della produzione dei contenuti consentono agli Autori lo sfruttamento delle potenzialità del DVD Video: elevata qualità del video, colonne sonore multiple, differenti formati dello schermo, visioni da angolazioni multiple e funzionalità interattive.

DVD: A Versatile Medium for Video, Audio and Data. DVD (Digital Versatile Disc) is the new digital medium to achieving a large data capacity and has been designed both for home entertainment (featuring high quality audio and video) and for PC applications. DVD achieves its superior data capacity (compared with CD, Compact Disc) by improving the physical characteristics of the disc (double layer and double side versions are included in the standard) and by using a fully revised format of data (error correcting coding and channel coding). The DVD-Video provides new opportunities to content producers, for the high quality of the digital video (the video is MPEG-2 coded at Variable Bit Rate), for the multiple soundtracks, various screen formats, multi view-angles and functions to provide a high degree of interactivity. Integrated and user friendly authoring tools and a careful planning of content production are required to exploit the whole functionality to the utmost. Besides the DVD-Video, there are the DVD-Audio, dedicated to the audio alone, the DVD-R, that allows one time recording of data, and a few kinds of erasable and rewritable discs, some of them still in a development phase. DVD is the most valid alternative to the presently available mass storage media for computer applications and its ad-hoc variant, the DVD-ROM, will soon replace the CD-ROM.

1. Introduzione

Nel corso del 1998 è iniziata la diffusione, anche sul mercato italiano, del DVD, un nuovo supporto ottico per la memorizzazione di elevate quantità di dati (fino a 17 GB su un disco di 12 centimetri di diametro), destinato sia al mercato dell'intrattenimento domestico, dove consente la riproduzione di audio e video compresso di qualità superiore a quanto non sia stato possibile fino ad ora, sia a quello del Personal Computer dove potrà essere utilizzato per contenere dati destinati, ad esempio, ad applicazioni multimediali ed interattive. Pur essendo, nell'aspetto, molto simile al Compact Disc, il DVD rappresenta una vera e propria rivoluzione per le notevoli innovazioni di carattere tecnico, che discuteremo nel presente articolo, e per le conseguenze, in parte ancora difficilmente prevedibili, che tale mezzo è destinato a portare nei due settori citati.
Con il termine DVD, acronimo di *Digital Versatile Disc* e che è inteso per lo più come *Digital Video Disc*, si indica uno standard, definito da un Forum internazionale costituito da dieci delle maggiori aziende operanti nel settore dell'elettronica di consumo. Lo standard DVD stabilisce le caratteristiche fisiche del disco, la codifica dei dati, la loro organizzazione logica sul disco (il *file system*) e le caratteristiche del video e dell'audio che saranno registrati su di esso.
La possibilità di disporre di un così grande spazio su un unico supporto consente, per la prima volta, di proporre all'utente domestico un prodotto con video digitale, codificato MPEG-2 a bit-rate variabile, di qualità di gran lunga superiore a quello delle tradizionali videocassette VHS, e audio su più canali (fino ad otto) di qualità superiore rispetto a quella degli attuali compact disc (standard CD audio). Inoltre è possibile registrare sullo stesso disco fino ad otto sequenze audio in tre lingue diverse e fino a 32 sequenze di sottotitoli, permettendo all'utente di passare da una colonna sonora all'altra, o da una sequenza di sottotitoli all'altra, senza interrompere la visione del film.

Oltre a questi notevoli miglioramenti dal punto di vista della qualità e della quantità di informazioni registrabili, viene offerta agli sviluppatori di contenuti l'opportunità di rendere interattivo il loro prodotto: infatti il DVD permette di registrare il film visto da nove angolazioni differenti, con la possibilità di passare da una all'altra senza soluzione di continuità e di realizzare film a trama e a finale multiplo, lasciando all'utente la scelta tra diversi percorsi all'interno del materiale cinematografico proposto. Sempre legata alle caratteristiche interattive del DVD è la possibilità di realizzare il cosiddetto controllo parentale, cioè di proteggere con un apposito codice le parti di film che si ritengono inadatte alla visione da parte dei bambini.

Gli sviluppi di un supporto di questo tipo, che già nella definizione delle specifiche presuppone un così alto grado di interattività, sono ancora difficili da prevedere; se è vero che al momento in cui scriviamo la maggior parte dei DVD si limita a trasporre sul nuovo supporto materiale cinematografico già esistente, senza sfruttare tutte le potenzialità del mezzo, è tuttavia pensabile che, soprattutto grazie alla diffusione di strumenti d'autore (*authoring)* di sempre minor costo e maggiore semplicità d'uso, il DVD tenderà a diventare lo strumento ideale per realizzare quella convergenza multimediale tra il mondo della televisione e quello dell'informatica e del personal computer che caratterizzerà il prossimo futuro [1]. Lo standard distingue il DVD video, destinato alla fruizione attraverso un lettore collegato al televisore, dal DVD-ROM, destinato ad essere utilizzato sul Personal Computer; tuttavia, dotandosi dell'hardware necessario e di un processore sufficientemente veloce, è possibile vedere i DVD video anche sul proprio PC. La definizione di un formato unico, fino al livello del *file system*, consente inoltre di realizzare prodotti "ibridi" in cui al DVD video è possibile aggiungere applicazioni ad esso correlate da far eseguire sul *personal computer* (ad esempio ad un film può essere abbinato un videogioco, o una serie di immagini, o altro [2]).

L'elevato grado di standardizzazione del DVD rappresenta una delle caratteristiche fondamentali del prodotto, e la realizzazione di questo obiettivo è stato un processo piuttosto difficile a causa della necessità di conciliare gli interessi, spesso contrastanti, di aziende operanti in settori diversi (produzione di film, elettronica di consumo, informatica ecc.); tutto ciò ha rallentato il lancio del prodotto ed ha imposto alcune limitazioni, ad esempio quelle relative alla localizzazione e alla protezione dalla copia, che, pur tutelando gli interessi dell'industria cinematografica, rappresentano un evidente freno alla sua diffusione. La standardizzazione è comunque un processo difficile ed ancora in corso; ad esempio, nel campo del DVD riscrivibile, pur essendoci una versione ufficiale specificata dal DVD Forum, il DVD-RAM, ed una in fase di definizione, il DVD-RW, alcune delle maggiori aziende partecipanti al Forum stesso, stanno portando avanti, indipendentemente da quanto stabilito dallo standard, prodotti incompatibili tra loro, basati su formati differenti, allo scopo di conquistare la leadership del mercato.

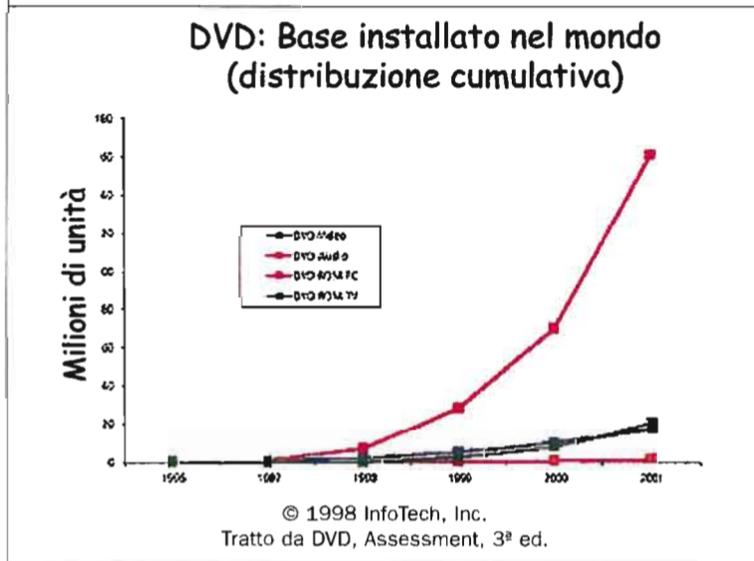
La storia del DVD testimonia lo sforzo compiuto nell'opera di standardizzazione: fin dall'introduzione del disco audio digitale (standard CD), nel 1982, e del CD ROM, nel 1985, le maggiori aziende operanti nel settore dell'elettronica di consumo e le manifatturiere di CD, hanno intensificato gli sforzi per superare il limite dei 650 MB dei CD. Nel 1993 *Nimbus Technology & Engineering* propose il primo disco a doppia densità in grado di memorizzare due ore di video in formato MPEG-1: si trattava della prima dimostrazione della possibilità di utilizzare un disco ottico per la memorizzazione di video e di audio digitale di qualità. Nel 1994 il diffondersi di nuove possibilità di diffusione del video, quali la televisione via cavo e via satellite, e lo svilupparsi dei servizi di *Video on Demand*[1], rese evidente alle industrie operanti nel settore dell'intrattenimento domestico, che la qualità fornita dalle videocassette VHS non sarebbe più stata considerata sufficiente da parte dei consumatori e che la diffusione di un nuovo supporto per la distribuzione dei film avrebbe incontrato il favore del pubblico. Venne costituito dunque un comitato per la definizione dei requisiti che tale nuovo mezzo avrebbe dovuto avere, il quale formulò le seguenti raccomandazioni:

- video ad alta risoluzione, conforme allo standard ITU BT-601
- 133 minuti di video su una singola faccia del disco
- audio di alta qualità - stereo e sei o più canali di tipo *surround*
- da tre a cinque lingue
- protezione dalla copia
- possibilità di controllo parentale
- formati dello schermo 16:9 e 4:3

All'inizio del 1995 furono presentate due proposte di disco ottico ad elevata capacità: quella di Toshiba e Time Warner (*Super Density Disc*, un disco a doppio strato) e quella di Philips e Sony (*MMCD, Multi Media CD,* disco a doppia faccia). Allo scopo di evitare che si riproponesse una situazione simile a quella nata nell'ambito delle videocassette, con la contrapposizione tra BetaMax e VHS, un gruppo di industrie operanti nel settore dei Personal Computer, guidate da IBM, insistette per la definizione di uno standard unico. Nacque così (settembre 1995) il consorzio per lo sviluppo dello standard, costituito dalle dieci aziende maggiormente interessate (Hitachi, JVC, Matsushita, Mitsubishi, Philips, Pioneer, Sony, Thomson, Time Warner e Toshiba). Il consorzio formulò lo standard per un disco *versatile* (il DVD) che può essere sia a doppio strato sia a doppia faccia. Nel maggio 1997 il consorzio è stato sostituito dal "DVD Forum", aperto a qualunque entità interessata che ne faccia richiesta.

Il DVD sembra essere destinato ad un'elevata penetrazione nel mercato dell'elettronica di consumo e, soprattutto, in quello del Personal Computer, come testimoniano le molte analisi di mercato portate avanti dalle principali società di consulenza americane. Citiamo, ad esempio, gli studi condotti recentemente da *InfoTech* [3] che prevedono che la vendita di dispositivi per la lettura di dischi DVD (sia DVD Video sia DVD ROM e DVD Audio) supererà nel 2000 i 50 milioni (figura 1) e che complessivamente il numero totale di lettori DVD installati supererà i 180 milioni nel 2001. La figura 1 mostra inoltre un incremento più consistente nel mercato nel settore informatico (lettori per DVD-ROM) rispetto a quello del DVD Video; ciò trova conferma anche nelle analisi di un'altra società di consulenza, *International Data Corporation* [4], che prevede che le vendite di lettori DVD-ROM supereranno quelle dei lettori di CD-ROM entro fine secolo. A titolo di confronto con i dati appena enunciati segnaliamo che alla fine del 1997 si stimava che ci fossero nel mondo 700 milioni di lettori CD audio, 160 milioni di lettori CD ROM, 400 milioni di videoregistratori e 1,2 miliardi di televisori.

Per quanto riguarda il mercato italiano, una recente indagine pubblicata da *Il Sole 24 ore* [5] riporta che i lettori di DVD venduti in Italia alla fine di ottobre 1998 (cioè circa sei mesi dopo il lancio del prodotto) erano più di 20000, cifra notevolissima, anche considerando il fatto che i titoli di film in DVD video sono, nel nostro paese, piuttosto scarsi.

Fig. 1 - Previsioni di *InfoTech* sull'andamento delle vendite di lettori DVD nel mondo nei prossimi anni e sull'insieme di lettori installati. Sono analizzati quattro tipi di prodotto: il lettore DVD Video, il lettore DVD Audio, il lettore DVD ROM per Personal Computer (DVD-ROM PC desktop) e il lettore per DVD ROM destinato ad essere collegato ad un televisore (DVD ROM TV Set-Top).

1.1 Classificazione dei DVD

Lo standard suddivide i vari tipi di DVD in base alle applicazioni cui sono destinati ed in base alle caratteristiche di riscrivibilità del supporto. Si distinguono cinque tipi di DVD:

- DVD-Video: specifica applicazione del DVD mirata alla memorizzazione di programmi video e alla riproduzione di film.
- DVD-Audio: applicazione del DVD progettata per usi solo audio (simile al CD-Audio).
- DVD-ROM: supporto di memorizzazione di massa ad alta capacità, simile al CD-ROM, per uso informatico.
- DVD-R (registrabile): una variante di DVD che può essere scritta una volta sola.
- DVD-RAM: una variante del DVD cancellabile e riscrivibile.

Per tutti i tipi di DVD elencati sono possibili differenti formati fisici del disco, che può avere un diametro di 8 o 12 centimetri. In entrambi i formati il DVD può avere una o due facce (SS *single side*, DS *double side*) e per ciascun lato può essere a singolo o a doppio strato (SL *single layer*, DL *dual layer*). Riportiamo in figura 2 la capacità di tutti i DVD previsti dallo standard, unitamente alla loro denominazione e alle caratteristiche fisiche del supporto (diametro e numero di strati e di facce). Come si può vedere la capacità per il DVD video varia da 1,4 GB per il DVD-1 (SS, SL, 8 cm di diametro) a 17 GB per il DVD-18 (DS, DL, 12 cm di diametro). Dal punto di vista della memorizzazione del video questo significa la possibilità di memorizzare da mezz'ora (DVD-1) a 8 ore (DVD-18) di video compresso MPEG-2.

1.2 Le specifiche del DVD

Lo standard DVD è definito in un insieme di specifiche che possono essere ottenute iscrivendosi al *"DVD Forum"* [6]. Le specifiche sono suddivise in cinque parti dette "libri" (*Book*) denominate Book A, B, C, D ed E ognuna delle quali relativa ad una delle applicazioni del DVD, come riassunto nella tabella 1. Le specifiche relative al DVD video ed al DVD-ROM sono già state ufficialmente approvate e sono disponibili nella versione 1.0. La versione 1.0 delle specifiche relative al DVD Audio è stata completata recentemente (ottobre 1998). Per quanto riguarda il DVD-RAM è stata approvata la versione 0.9 e restano ancora alcune questioni da definire. Il Forum ha inoltre deciso di formulare le specifiche relative al DVD-RW, prodotto riscrivibile sviluppato inizialmente in modo indipendente da Pioneer ed inserito tra i DVD ufficiali a marzo 1998. Per maggiori dettagli sui DVD riscrivibili si veda la sezione 6.

Come si vede nella tabella 1 le specifiche relative al formato fisico sono identiche per i DVD Video, i DVD audio e i DVD-ROM, mentre sono presenti delle differenze con i DVD riscrivibili. Le specifiche relative al *file system* stabiliscono che tutti i dischi supportino lo standard *UDF*, (*Universal Disc Format*), ma per i DVD ROM, DVD Video e DVD audio è utilizzato un sottoinsieme dell'UDF detto micro-UDF che può convivere con lo standard ISO 9660 (standard oggi utilizzato per i CD ROM) realizzando una struttura dati denominata *UDF-Bridge*.

Mentre per quanto riguarda il DVD video le specifiche si spingono a definire tutte le caratteristiche relative al formato del video digitale, dell'audio e della struttura di navigazione all'interno del disco (si veda la sezione 4), per quanto riguarda le applicazione informatiche del DVD (DVD ROM, DVD-RAM e DVD- R) le specifiche si fermano alle definizione del *file system*.

2. Caratteristiche Fisiche del supporto

L'aspetto di un Digital Versatile Disc è identico a quello di un comune Compact Disc, si tratta, infatti, di un disco di policarbonato rivestito da uno strato riflettente di alluminio spesso 1,2 μm. Dopo il processo di masterizzazione, nel caso di DVD singolo strato, sullo strato di alluminio viene fuso uno strato protettivo di

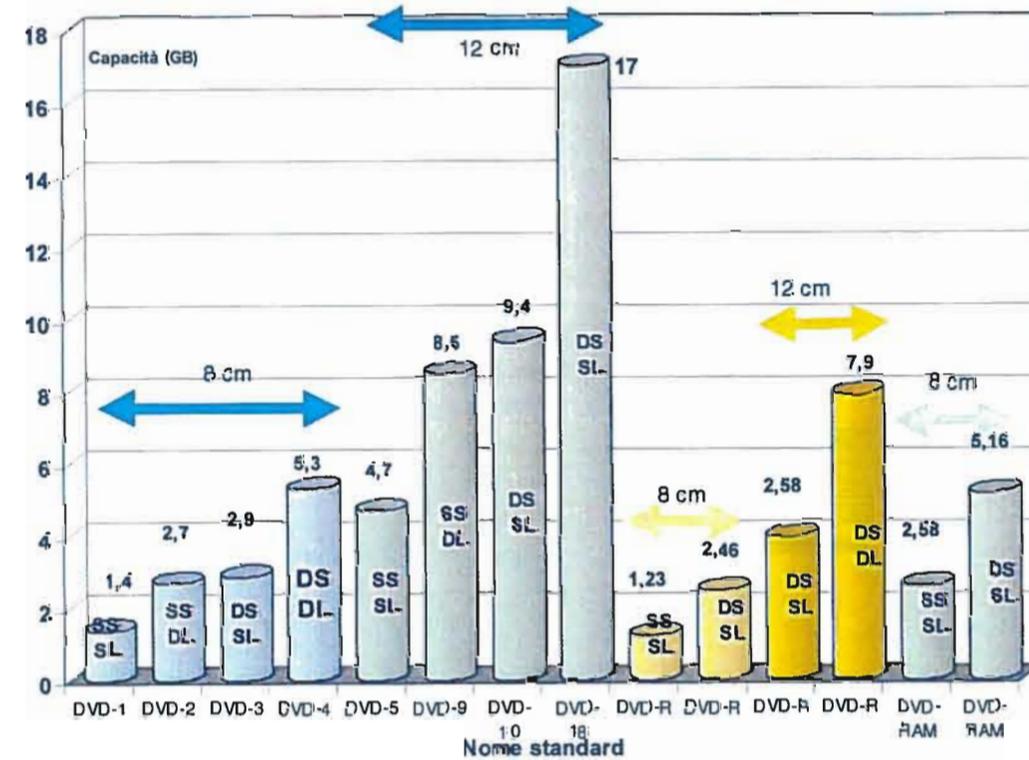



Fig. 2 - Confronto tra le capacità di tutti i DVD previsti dallo standard. La capacità è stata riportata in Giga byte (GB) intendendo che 1 GB=10^9 byte. In tutto questo articolo useremo questa convenzione, osserviamo però che, soprattutto in ambito strettamente informatico, talvolta si intende 1 GB= 2^{30} byte.

resina trasparente, mentre nel caso di DVD doppio strato sopra allo strato riflettente c'è ancora un secondo strato semi riflettente (realizzato in un fotopolimero) alto 40 µm e poi lo strato protettivo.

Come in un normale Compact Disc, i dati sono registrati sul disco in una spirale di fossette (*pit*): i dati vengono letti illuminando la traccia con un raggio laser e rilevando le variazioni dell'intensità del raggio riflesso. Poiché la lunghezza d'onda del laser del dispositivo di lettura è comparabile con le dimensioni della fossetta, il raggio incidente viene riflesso nella stessa direzione, ma con verso opposto, se la zona colpita è una zona senza fossetta (*land*) e difratto se la zona colpita è una fossetta (*pit*).

Nel caso di DVD a doppio strato il laser viene focalizzato sia sullo strato inferiore (riflettente) che su quello superiore (semi-riflettente) utilizzando una lente olografica a doppio fuoco. Lo strato superiore viene solitamente letto in sequenza dopo quello inferiore: il lettore si muove dal centro del disco verso il bordo per la lettura dello strato inferiore e poi dal bordo verso il centro per la lettura dello strato superiore. Questa modo di lettura è detta OTP (*Opposite Track Path*) o RSDL (*Reverse-Spiral Dual Layer*) ed è adatta alla registrazione di film destinati ad una visione di tipo lineare (dall'inizio alla fine). È anche possibile leggere i due strati *in parallelo*, cioè nello stesso verso, agevolando il passaggio tra lo strato inferiore e quello superiore, per prodotti interattivi in cui si prevedono molti salti tra i dati contenuti in una traccia e quelli contenuti nell'altra (modalità di lettura detta PTP, *Parallela Track Path*). In entrambi i casi un *buffer* nel lettore DVD consente la memorizzazione dei dati durante il passaggio dallo strato inferiore a quello superiore; non è comunque garantito che tale passaggio non sia avvertibile dall'utente e nella maggior parte dei lettori il passaggio dalla lettura di uno strato all'altro comporta un blocco dell'immagine per circa mezzo secondo.

In figura 3 sono riportati gli schemi delle quattro possibili configurazioni consentite dallo standard (singola e doppia faccia, singolo e doppio strato).

A differenza dei normali CD sia i DVD a singola faccia che quelli a doppia faccia sono costituiti da due strati spessi 0,6 mm: nel caso di DVD singola faccia lo strato corrispondente alla faccia su cui non sono registrati i dati è semplicemente un substrato di policarbonato: tale scelta è stata fatta per compatibilità con i DVD doppia faccia, in questo modo infatti il laser di lettura può essere focalizzato sempre a 0,6 mm di profondità indipendentemente dal fatto che il disco sia a singola o a doppia faccia. La maggiore capacità del DVD rispetto al CD (anche nella sua versione singola faccia e singolo strato) è legata alle diverse dimensioni dei *pit* e alla maggiore vicinanza delle tracce a spirale tra di loro: mentre in un CD la lunghezza minima delle fossette è di 0,834 µm e la distanza tra due tracce è di 1,6 µm, in un DVD tali parametri sono ridotti a 0,4 µm (lunghezza *pit*) e 0,74 µm (distanza tra le tracce), come illustrato in figura 4.

Tale differenza rende gli attuali lettori di CD totalmente incompatibili con il nuovo supporto: infatti la lunghezza d'onda del laser di un lettore di CD (780 nm) è troppo elevata per poter leggere le tracce di un

Tabella 1
Organizzazione delle specifiche del DVD

Libro / Parte	Libro A Dispositivi a sola lettura	Libro B Video	Libro C Audio	Libro D Dispositivi scrivibili una sola volta	Libro E Dispositivi riscrivibili
Parte 1	Formato fisico del disco				
Specifiche fisiche	Specifiche dei dischi a sola lettura			Specifiche dei dischi scrivibili una sola volta	Specifiche dei dischi riscrivibili
Parte 2 File System	UDF - Bridge (M-UDF + ISO 9660)			UDF	UDF
Parte 3 Applicazioni		Specifiche Video	Specifiche Audio		

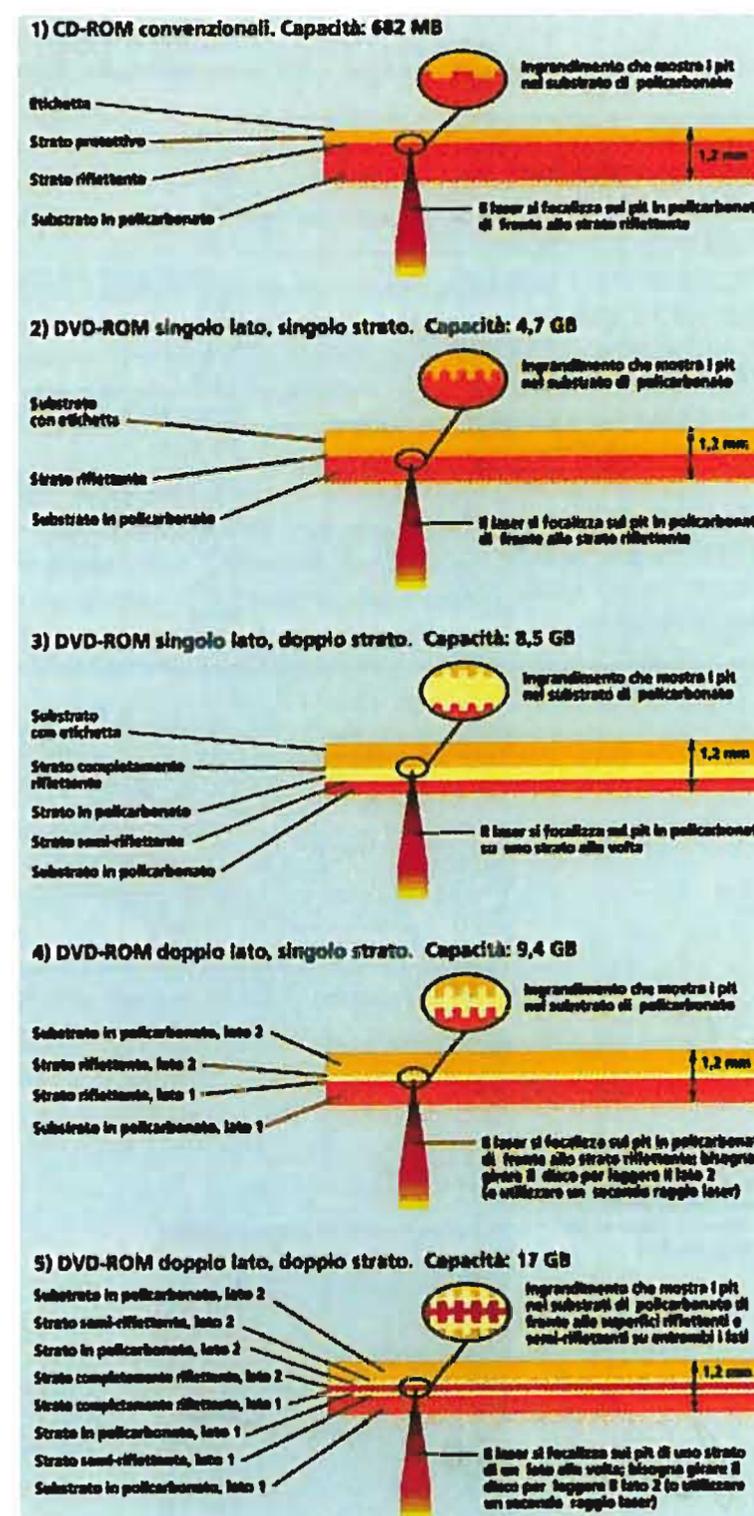



Fig. 3 - Sezione di un CD (1) e dei vari tipi di DVD (2,3,4,5).

Il DVD: un supporto versatile per video, audio e dati

Tabella 2
Confronto fra DVD e CD (caratteristiche fisiche del disco e del lettore)

Parametro	DVD	CD
Diametro esterno (mm)	120	120
Spessore del substrato (mm)	0,6	1,2
Distanza tra le tracce (μm)	0,74	1,6
Minima distanza tra i pit (μm)	0,40 (SL) o 0,44 (DL)	0,834 - 0,97
Lunghezza d'onda (nm)	650	780
Apertura numerica della lente	0,6	0,45
Bit-rate (Mbit/s)	11,8	1,64
Velocità di rotazione (m/s)	3,49 (SL) o 3,84 (DL)	1,2 - 1,4
Riflettività (minima)	70 % (SL) 25 % (st. sup) e 40 % (st. inf.) (DL)	70%
Dimensioni dello spot (l/ NA)	0,63	1
Profondità di fuoco (l/NA²)	0,47	1
Aberrazione cromatica (l/NA³)	0,35	1
Aberrazione Sferica (l/NA⁴)	0,26	1

DVD. Inoltre la dimensione del fascio (*spot size*) deve essere minore e la capacità di focalizzazione del fascio deve essere maggiore (si veda la tabella 2, dove sono confrontati DVD e CD, le caratteristiche fisiche del disco e del lettore previste dalla parte 1 delle specifiche). Questo comporta la necessità di una maggior apertura numerica[2], del sistema ottico. È richiesta inoltre una maggiore precisione nel meccanismo di asservimento meccanico del dispositivo di lettura.

La determinazione dello spessore del disco è stata oggetto di notevole dibattito nella definizione delle specifiche [7], infatti l'aver posto lo strato riflettente alla profondità di 0,6 mm crea una difficoltà tecnica non banale nella realizzazione di lettori DVD che siano anche lettori CD poiché il laser nei lettori CD deve essere focalizzato alla profondità di 1,2 mm. Si è scelto di porre lo strato riflettente a 0,6 mm perché l'incremento dell'apertura numerica necessario per diminuire lo *spot size* del fascio (che è proporzionale alla lunghezza d'onda del laser e inversamente proporzionale all'apertura numerica) aumenta la tolleranza richiesta sull'inclinazione del disco rispetto alla direzione di propagazione del fascio stesso. Infatti la tolleranza, cioè l'errore consentito nell'inclinazione del disco rispetto all'asse ottico del sistema di focalizzazione (*disc tilt*), è proporzionale a $D/(NA)^3$, dove D è la profondità dello strato da mettere a fuoco; non essendo possibile, dal punto di vista meccanico, realizzare tolleranze inferiori a 0,5° è stato necessario compensare l'aumento di NA con una diminuzione dello spessore D.

Il problema della differente profondità dello strato riflettente nei lettori per DVD e CD è stato risolto da Matsushita e Panasonic usando una lente olografica a doppio fuoco che divide il fascio in due parti focalizzandole su piani differenti evitando così lo spostamento meccanico del laser [8].

Fig. 4 - Confronto tra la superficie di un CD (a sinistra) e quella di un DVD (a destra).

La velocità lineare di rotazione di un DVD è variabile, come nei CD audio, ma è decisamente maggiore, infatti si passa da una velocità lineare variabile tra gli 1,2 e gli 1,4 m/s in un driver per CD a velocità lineare variabile, ai 3,49 m/s per i DVD a singolo strato e 3,84 m/s per quelli a doppio strato. Questo fatto, unitamente alla maggiore densità dei dati sul disco, consente di aumentare di un ordine di grandezza la velocità del flusso di dati prodotto.

Il processo di produzione dei DVD è simile a quello dei normali CD anche se richiede un maggiore controllo dei parametri. Per l'incisione delle tracce sul master, utilizzato per stampare le copie del DVD, è infatti necessario un laser a maggiore risoluzione rispetto a quello utilizzato nei CD e devono essere inoltre controllati con maggiore precisione la posizione del fascio e la velocità di rotazione del disco. È comunque possibile ottenere dischi di buona qualità a prezzo comparabile con quello degli attuali CD.

3. La codifica dei dati sul DVD

L'aumento di capacità del DVD, rispetto al CD, non è dovuto soltanto alle diverse caratteristiche fisiche del disco, cioè ad una maggiore densità delle tracce e ad una minore dimensione dei *pit*, ma anche ad una completa revisione della codifica del segnale numerico, sia per quanto riguarda il codice di correzione d'errore che per quanto riguarda la codifica di canale. Nei CD l'informazione binaria, ottenuta per campionamento e quantizzazione del segnale analogico, viene infatti codificata attraverso la concatenazione di due codici, il **CIRC** (*Cross Interleaved Reed-Solomon Code*), che consente l'individuazione e la correzione degli errori, e l'**EFM** (*Eight to Fourteen Modulation*), che trasforma la sequenza di bit ottenuti dalla codifica precedente in un segnale numerico con caratteristiche idonee al canale di trasmissione utilizzato (in questo caso il sistema costituito dal disco e dal lettore). Nel DVD, invece, sono utilizzati due nuovi schemi di codifica: **RS-PC** (*Reed-Solomon Product Code*), per l'individuazione e la correzione degli errori, e **EFM-Plus**, per la codifica di canale [7]: entrambi gli schemi di codifica si applicano a tutti i tipi di DVD e sono descritti nella parte 1 delle specifiche.

Una misura grezza, non esaustiva ma significativa, dell'efficienza del sistema di codifica, consiste nel calcolare la percentuale di *overhead*, cioè di dati non facenti parte dell'informazione che si intende trasmettere, introdotta dalle codifiche di correzione di errore e di canale sui dati non codificati. Nel caso del CD un bit utente è codificato con 3,05 bit di canale, mentre

nel caso del DVD ad un bit utente corrispondono 2,36 bit di canale. Questo comporta un incremento dell'efficienza del formato del **32 %** rispetto al CD Audio e del **47 %** rispetto al CD-ROM. La differenza tra CD Audio e CD ROM è dovuta al fatto che nei CD-ROM viene introdotto un ulteriore livello di codifica per la correzione degli errori non necessario nel caso del CD Audio. La codifica CIRC, usata nei CD, è infatti basata sull'interpolazione del segnale o sulla sua soppressione, nel caso in cui vengano individuate sequenze di dati errati: questa tecnica va bene per il segnale audio, ma non può essere utilizzata per i dati contenuti nel CD-ROM, dove non può essere fatta alcuna interpolazione. La codifica RS-PC, usata in tutti i tipi di DVD, invece è sufficientemente affidabile da non richiedere ulteriori controlli e correzioni dell'errore anche in applicazioni di tipo informatico.
Di fronte ad un così ingente risparmio di spazio ottenibile esclusivamente con un miglioramento degli algoritmi di codifica ci si potrebbe chiedere per quale motivo essi non siano stati utilizzati già nei CD: la risposta va ricercata nel fatto che la realizzazione di tali algoritmi richiede memorie di maggiori dimensioni e maggiore capacità di elaborazione anche in fase di decodifica di quelle usate per il CD e all'epoca della definizione dello standard (1979) la loro adozione non era possibile o comunque compatibile con il contenimento del prezzo del lettore CD ad un livello tale da favorirne una rapida diffusione.
Per ulteriori dettagli sulla codifiche di canale e di correzione d'errore rimandiamo all'appendice.

4. Il DVD Video

Per quanto riguarda il DVD video, le specifiche, contenute nel libro B, definiscono le codifiche dell'audio e del video digitale, i formati dello schermo consentiti, le caratteristiche dei sottotitoli e delle immagini fisse, tutte le opzioni relative al controllo parentale e all'interattività ed i meccanismi messi in atto per evitare la diffusione di copie non autorizzate.

4.1 Codifica e compressione del video

I formati video consentiti dallo standard DVD sono il formato di compressione MPEG-2 (standard individuato come ITU-T H.262 oppure ISO-IEC 13818-2) sia a velocità costante (CBR, *costant bit-rate*) che a velocità variabile (VBR, *variable bit-rate*), in una versione ristretta della combinazione di profili e livelli MP@ML oppure SP@SL, ed il formato di compressione MPEG-1 (standard ISO-IEC 11172-2) solo a bit-rate costante. Una descrizione dettagliata dell'algoritmo di compressione MPEG esula dallo scopo del presente lavoro, rimandiamo pertanto alla letteratura specifica sull'argomento (si veda ad esempio 9, 10). Ricordiamo soltanto che la norma MPEG richiede di definire un insieme di tecniche o cassetta degli atrezzi (*toolkit*) che, opportunamente combinate, definiscono un profilo (*profile*) che consente di soddisfare i requisiti per una specifica applicazione. All'interno di ciascun profilo si individua poi una serie di *livelli* che definiscono ulteriori parametri dell'immagine e quindi specificano le caratteristiche del decodificatore.
La combinazione di profili e livelli della norma MPEG-2 denominata *Main Profile at Main Level* (MP@ML) corrisponde ai formati televisivi europei e americani. Tale combinazione consente la codifica di segnali di tipo 4:2:0, cioè segnali video in cui le componenti di colore sono sottocampionate verticalmente. Le dimensioni dei quadri tipiche sono di solito di 720 x 480 pixel (nella codifica NTSC 60/525) e 720 x 576 (nella codifica PAL 50/625). Le specifiche del DVD pongono ulteriori vincoli su parametri quali, ad esempio, la lunghezza massima dei *Groups of Pictures* (GoP) e la distanza massima tra i quadri di riferimento, non specificati dallo standard ITU-IEC. La codifica MPEG2-MP@ML è la più usata sul mercato del DVD perché è quella che permette di ottenere la qualità migliore tra quelle consentite; le specifiche permettono tuttavia anche l'utilizzo della combinazione di profili e livelli SP@ML *(Simple Profile at Main Level)*.
La codifica nel formato MPEG-1 ha una risoluzione minore di MPEG-2, in quanto la dimensione dello schermo è suddivisa in 352x240 o 352x288 pixel a seconda del sistema televisivo usato. Questo comporta un degrado dell'immagine tale non rendere consigliabile l'utilizzo di tale formato per la registrazione di film, ma di riservarne l'uso per applicazioni in cui i requisiti sulla qualità non siano particolarmente elevati.
La **velocità massima** di trasferimento di audio e video combinato che un lettore DVD deve essere in grado di supportare è di 9,8 Mbit/s, (al quale deve essere aggiunto l'*overhead* dei dati relativi alla gestione del sistema, di cui parleremo in seguito, arrivando a 10,08 Mbit/s).
Sono supportati sia il formato PAL (625 righe, 25 quadri al secondo interallaciati), sia il formato NTSC (525 righe, 29,97 quadri al secondo interallaciati); le specifiche non richiedono che un lettore DVD supporti entrambe le codifiche, anche se sul mercato europeo sono già apparsi lettori che consentono questa possibilità. È inoltre possibile realizzare la codifica dei film partendo direttamente dalla sequenza a 24 quadri al secondo con scansione progressiva e non interallaciata.
La possibilità del DVD di realizzare la codifica MPEG direttamente sul materiale cinematografico a 24 fotogrammi al secondo, scanditi in modo progressivo, anziché sul materiale cinematografico convertito in formato televisivo, consente di avere un disco che contiene i film alla frequenza originale e di demandare al lettore la trasposizione nel formato a 25 o 29,97 Hz, qualora questo sia necessario.
La conversione di formato da 24 quadri al secondo a 25 o 29,97 semiquadri al secondo viene fatta nel modo descritto in seguito. All'atto della codifica il codificatore introduce degli indicatori (*flag*) nella sequenza MPEG che, in fase di decodifica forzano la ripetizione di ogni singolo quadro per il sistema a 50 Hz (PAL) o l'interpolazione per il sistema NTSC: il lettore DVD dunque non riceve alcuna informazione sul formato del materiale in ingresso, ma si limita ad eseguire la decodifica MPEG, e a trasporla nel sistema televisivo PAL o NTSC per cui è predisposto. Questo comporta la possibilità di registrare sullo stesso DVD materiale di tipo diverso, ad esempio brani di video realizzati a 25 semiquadri al secondo interallaciati e spezzoni di film a 24 Hz con scansione progressiva: in entrambi i casi il lettore DVD dovrà solo occuparsi della decodifica del flusso (*stream)* MPEG, e della sua conversione nel formato accettato dal televisore a cui è collegato.
Nel caso in cui il DVD sia eseguito su un calcolatore invece è possibile porre la frequenza di rinfresco (*refresh rate)* del monitor ad un valore pari ad un multiplo intero di 24 Hz, realizzando così direttamente la visualizzazione del film alla stessa frequenza con cui è stato ripreso. Alcuni lettori per DVD sono inoltre dotati di un'uscita in componenti YUV progressiva, la quale permette il collegamento ad un televisore, o ad un sistema di proiezione, di tipo *progressivo* cioè in grado di visualizzare direttamente il segnale a 24 Hz con scansione progressiva ripetendo ogni fotogramma come nel caso del cinema [11].

In Tabella 3 sono riportate le specifiche relative ai principali parametri delle due codifiche video (PAL e NTSC) consentite dallo standard.

4.2. Formato dello schermo

Il DVD supporta sia il formato standard 4:3 che il formato 16:9, più simile al formato d'immagine dei prodotti destinati al cinema e quindi preferibile per la riproduzione dei film. Se non si dispone di un televisore a largo schermo deve essere possibile visualizzare i filmati in formato 16:9 scegliendo tra la visualizzazione con bande nere sopra e sotto l'immagine (tipo *letterbox*) oppure l'immagine a tutto schermo tagliata ai lati (tipo *pan & scan*).

Nel caso del *pan & scan* viene individuata la porzione dell'immagine che contiene la porzione più significativa della scena ed è quindi necessario che, durante la fase di creazione del DVD, siano incluse nella sequenza di dati anche le informazioni relative alla posizione del centro dell'azione all'interno dell'immagine, in modo che sia visualizzata sullo schermo della TV in formato 4:3.

Un esempio dei tre formati citati è riportato in figura 5.

4.3. Punti di vista

Il formato DVD prevede la possibilità di registrare la medesima sequenza video, vista da diverse angolazioni: sono consentite fino a nove differenti punti di vista e deve essere possibile passare da uno all'altro senza soluzione di continuità.

Questo comporta, dal punto di vista della produzione, una diminuzione nel bit-rate che deve essere assegnato ad ogni singola sequenza, per mantenersi nel limite massimo dei 9,8 Mbit/s.

Tabella 3
Caratteristiche del video digitale previste dallo standard per il DVD

Codifica	MPEG 1 MPEG-2 (MP@ML oppure SP@ML)
Frequenza di quadro	29,97 o 25 Hz
Sistema televisivo	525/60 o 625/50
Formato dello schermo	4:3 (per tutti i formati video) 16:9 (per tutti i formati tranne 352 pixel/linea)
Modo di visualizzazione dei film	Pan & scan o letterbox
Dimensioni di un quadro dopo la codifica	525/60: 720x480, 704x480, 352x480, 352x240 625/50: 720x576 , 704x576, 352x576, 352x288 (per MPEG-1 solo 352x240 o 352x288)
Dimensioni del GoP per la codifica	Max 36 semiquadri o 18 quadri (NTSC) Max 30 semiquadri o 15 quadri (PAL)
Distanza massima tra i quadri di riferimento	3
Dimensioni del buffer	1,8525008 Mbit (MPEG-2) max 327689 bit (MPEG-1)
Metodo di trasferimento	VBR e CBR (MPEG2) CBR (MPEG 1)
Massima velocità di trasferimento	9,8 Mbit/s

Il DVD: un supporto versatile per video, audio e dati

Fig. 5 - Un confronto tra le visualizzazioni in formato 16:9, *letterbox* e 4:3.

4.4. Codifica audio

Le possibilità offerte nel campo della memorizzazione dell'audio da parte del DVD sono notevoli: si possono memorizzare fino ad otto colonne sonore, ed ognuna di queste può essere composta da 5 o 7 canali, più uno per gli effetti speciali alle basse frequenze detto LFE (*Low Frequencies Effects)* connesso ad un *subwoofer* (configurazioni dette a 5.1 e 7.1 canali). Ciò permette di realizzare, anche per gli utenti domestici, l'effetto *surround*, disponibile oggi solo in alcune sale cinematografiche. Per usufruire dell'audio a 5.1 canali l'utente dovrà munirsi di un impianto come quello illustrato in figura 6. La possibilità di registrare fino ad otto colonne sonore può essere sfruttata per avere sullo stesso supporto film in otto lingue diverse con la possibilità di passare da una lingua all'altra nel corso della visione del film.

Ognuna delle otto tracce audio di un disco DVD video può essere in uno dei seguenti formati:

- Dolby Digital (precedentemente detto AC-3): da 1 a 5.1 canali
- MPEG-2 Audio: da 1 a 5.1 o 7.1 canali (standard ISO/IEC 13818-3)
- LPCM da 1 a 8 canali

Descriviamo nel seguito brevemente tali formati:

PCM Lineare (LPCM): è un formato audio digitale non compresso, lo stesso usato nei CD e nella maggior parte degli studi di masterizzazione. Il campionamento può avvenire a 48 o 96 kHz e con campioni da 16, 20 e 24 bit (i CD audio sono limitati a 44,1 kHz a 16 bit). Ci possono essere da 1 a 8 canali. Il *bit-rate* massimo è di 6,144 Mbps, il che limita o la frequenza di campionamento, o il numero di bit per campione nel caso di cinque o più canali. In generale una dinamica di 96 dB, quale quella ottenuta con campioni a 16 bit, o una di 120 dB (20 bit) viene ritenuta adeguata per qualunque tipo di applicazione ad alta fedeltà. I lettori DVD devono, per specifica, supportare tutti i tipi di LPCM, ma alcuni sottocampionano il suono a 96 kHz a 48 kHz e molti non usano tutti i 20 bit.

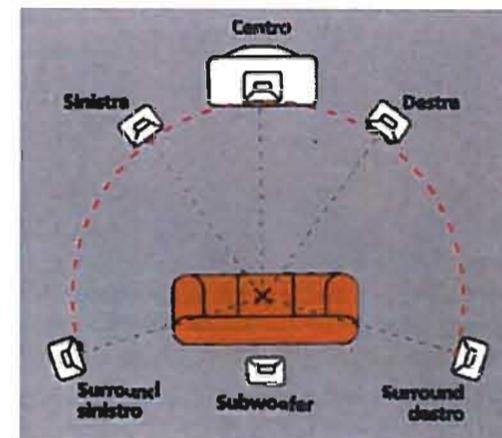



Fig. 6 - Impianto domestico per l'utilizzo di 5.1 canali audio.

Dolby Digital: è un formato audio multi canale compresso con la codifica con perdite[3] AC-3 da un flusso di dati originale LPCM a 48 kHz, 24 bit. Il *bit-rate* varia a seconda del numero di canali usati (da 64 kbps a 448 kbps) con un valore usuale di 384 kbps per la codifica a 5.1 canali e 192 kbps nel caso di normale stereo a due canali. Per maggiori dettagli si consulti [12].

MPEG Audio: è un formato audio compresso da un flusso LPCM originale a 48 kHz, 16 bit. Sono supportati sia il formato MPEG-1, sia MPEG-2. Anche in questo caso il bit-rate dipende dal numero di canali (da 32 kbps a 912 kbps) con un valore per 5.1 canali pari a quello del Dolby Digital (384 kbps). MPEG-2 consente di utilizzare sia 5.1 canali che 7.1 canali, anche se quest'ultima opzione non è prevista nella maggior parte dei lettori per uso domestico. È inoltre richiesto che i canali di *surround* MPEG-2 siano anche codificati in un ulteriore flusso di dati per MPEG-1, rendendo in questo modo i dischi MPEG-2 compatibili con lettori che supportano solo MPEG-1.

Le specifiche consentono inoltre l'utilizzo di altri due formati opzionali: il DTS (*Digital Theater Sound*) e l'SDDS (*Sony Dynamic Digital Sound*). Il DTS è un formato video multicanale 5.1 compresso a partire da un flusso PCM a 48 kHz e 20 bit, mentre l'SDDS è uno standard proprietario Sony per audio a 5.1 o 7.1 canali compresso da un flusso PCM a 48 kHz.
L'audio MPEG-2 può essere associato al video in standard PAL, e il Dolby Digital al video NTSC; le specifiche richiedono infatti che al video NTSC sia abbinata almeno una traccia LPCM o Dolby Digital e al video PAL sia abbinata almeno una traccia in LPCM o MPEG audio o Dolby Digital.

Tutti i lettori DVD hanno un decodificatore che converte il flusso 5.1 o 7.1 in formato Stereo Dolby Digital per consentire la fruizione dell'audio nel caso in cui non si disponga di un impianto di tipo *surround*.

4.5. Immagini fisse e sottotitoli

È possibile visualizzare immagini fisse (codificate come quadri MPEG-2 di tipo *I*) per un tempo definito dall'autore del DVD o per un tempo indefinito, fino ad un intervento dello spettatore, realizzando in questo modo dei menu. Inoltre è possibile realizzare fino a 32 sequenze di sottotitoli, che si sovrappongono alle sequenza video, utilizzabili per traduzioni di film in lingua originale, servizio per i non udenti, karaoke ecc.

4.6. Codice regionale

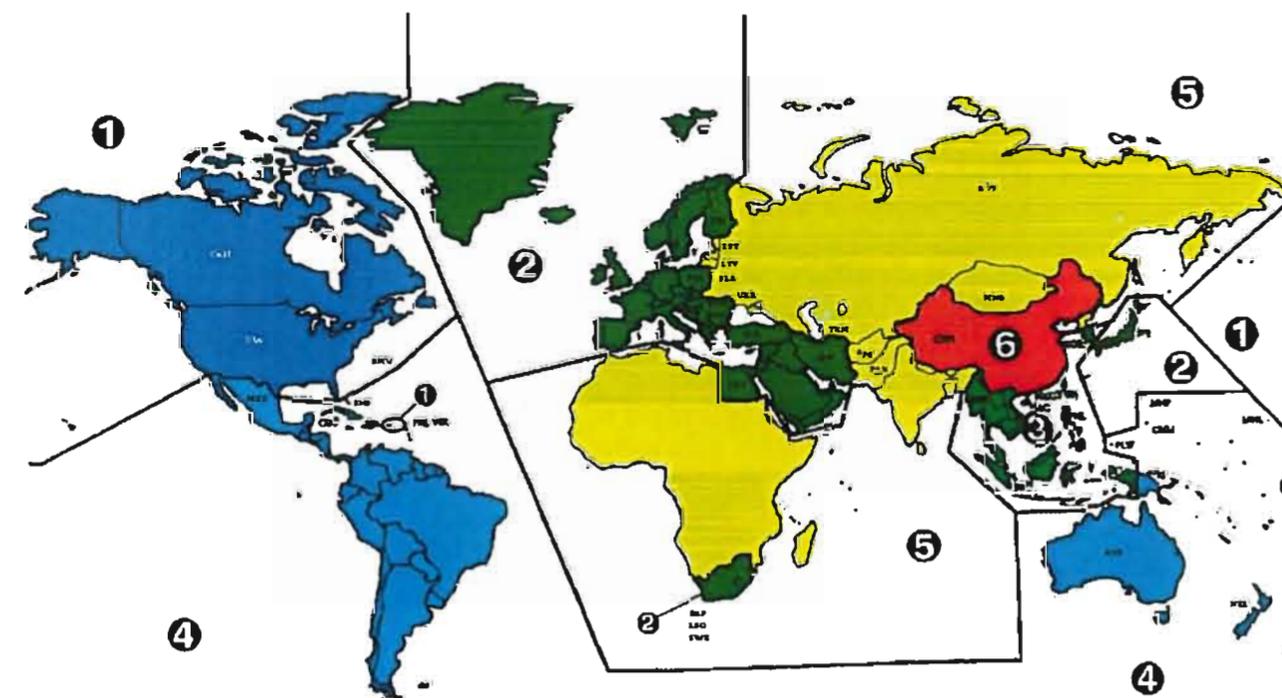
Per venire incontro alle esigenze dell'industria cinematografica il DVD Forum ha stabilito che i lettori di DVD non siano tutti uguali, ma che si utilizzi un codice regionale che impedisce l'utilizzo di dischi provenienti da paesi di continenti diversi da quello di origine del lettore. Prima dell'esecuzione del DVD il lettore verifica che il codice presente sul disco sia uguale a quello memorizzato in una ROM interna: se questo non si verifica il lettore non è in grado di eseguire il DVD. La presenza di questa forma di protezione è motivata dalle richieste dell'industria cinematografica, che non desidera che copie di un film non ancora distribuito nelle sale cinematografiche di un dato paese circolino liberamente in tale paese. Anche il sistema di codifica dell'audio agisce in questo senso, il formato MPEG-2 audio verrà utilizzato per i dischi distribuiti in Europa, in standard PAL, mentre il Dolby Digital accompagnerà il video NTSC. Ci sono sei regioni, come illustrato in figura 7.

4.7. Protezione dalla copia

A causa dell'alta qualità video del DVD e della possibilità di farne copie digitali perfette, i proprietari dei diritti sui film, fin dalle prime fasi di sviluppo di questo supporto, hanno cercato di tutelarsi in modo da impedire che i DVD potessero essere utilizzati come master per la duplicazione di nastri VHS e che i dati in essi contenuti fossero trasferiti su un altro supporto utilizzando un computer. Sono stati approvati tre sistemi di protezione dalla copia che possono essere usati opzionalmente dai produttori di contenuti di DVD.
La prima forma di protezione è un dispositivo detto **APS** (*Analog Protection System*), la cui versione commerciale è nota come **Macrovision** [13], posto all'uscita del lettore. Tale dispositivo aggiunge al segnale di uscita video-composito ed al segnale di uscita s-video (Y-C) un segnale rapidamente modulante che altera il sincronismo verticale e che confonde la sincronizzazione ed i livelli automatici di registrazione della maggior parte (circa il 95%) dei videoregistratori in commercio. Un'altra forma di protezione è il **CSS** (*Content Scrambling System*): il CSS è un modo di criptare i dati per scoraggiare il tentativo di leggere i file contenenti audio e video direttamente dal disco. Citiamo inoltre la possibilità di prevenire la copia introducendo, incorporate nel segnale video, le informazioni relative alla possibilità che il disco venga copiato ed eventualmente al numero di copie consentite, registrandole in appositi *flag* (**CGMS,** *Copy General Management System*).

4.8. Organizzazione dei dati sul DVD Video

Le specifiche del DVD definiscono un unico tipo di *file system* valido per tutti i DVD, da quelli specificati nel libro A a quelli specificati nel libro D. Tutti i DVD obbediscono allo standard *Universal Disc Format* (UDF) o ISO-9660 Bridge, che è un'evoluzione dello standard ISO-9660, utilizzato per i CD-ROM, ed è progettato specificatamente per i dischi ottici [14]. I lettori DVD Video, d'altra parte, supportano solo un sottoinsieme dell'UDF, chiamato Micro UDF. Tale standard è del tutto simile all'UDF completo, ma i file vengono messi soltanto in una particolare *sottodi-*

Fig. 7 - Aree geografiche con codice regionale differente. 1: Canada, U.S.A. 2: Giappone, Europa, Sud Africa, Medio oriente (compreso l'Egitto), 3: Sud Est Asiatico, Est Asiatico, Hong Kong, 4: Australia, Nuova Zelanda, Isole del Pacifico, America Centrale, Sud America. 5: C.S.I, India, Africa, Corea del Nord e Mongolia. 6: Cina,

rectory destinata al video. Lo standard Micro UDF può convivere con lo standard ISO 9660 realizzando una struttura ibrida detta UDF-Bridge.

Il DVD è organizzato gerarchicamente in volumi, set di titoli, titoli, parti di titolo e celle. L'organizzazione del video in una struttura gerarchica di questo tipo consente all'utente di accedere a determinate sezioni del video registrato in modo casuale e non sequenziale, permettendo un utilizzo interattivo del materiale contenuto nel disco.

I dati contenuti in un DVD possono essere suddivisi in dati *di presentazione* (o dati oggetto) che rappresentano il contenuto vero e proprio del disco (audio, video, sottotitoli e immagini fisse) e dati *di navigazione* o controllo, che costituiscono i puntatori ai precedenti e ne consentono l'accesso (hanno cioè la medesima funzione di una tabella di allocazione dei file in un *file system*). Ognuna delle strutture gerarchiche di cui è costituito il DVD contiene sia dati di presentazione che dati di controllo; la presenza dei dati di controllo è responsabile del già citato *overhead* del sistema, che porta il bit-rate massimo dai 9.8 Mbps massimi consentiti dalle specifiche del DVD per lo *stream* MPEG-2, a 10.1 Mbps.

Il livello più alto dell'organizzazione di un singolo disco è il **Volume**. Un volume è costituito da tre zone: una zona contenente i dati di controllo relativi al *file system* UDF-Bridge (ISO 9660 e Micro UDF), una zona destinata al video e una zona dedicata ad altre applicazioni denominata *DVD others*, utilizzabile per applicazioni non di DVD Video. Quest'ultima zona può essere convenientemente sfruttata per realizzare prodotti ibridi, nei quali, sono presenti dei contributi di tipo DVD video, fruibili con un lettore DVD Video, e altri programmi, di tipo DVD-ROM, destinati all'esecuzione su PC.

La zona del volume (figura 8) del DVD relativa al Video è costituita da un direttorio denominato *Video Manager* (VM), e da un numero variabile tra 1 e 99 di direttori denominati *Video Title Sets* (VTS) contenenti i titoli del DVD (ad esempio un film è generalmente contenuto in un unico VTS). Il *Video Manager* contiene dati di controllo (*Video Manager Information, VMGI*) e dati oggetto. I dati di controllo sono costituiti dai puntatori ai VTS, mentre i dati oggetto sono di solito costituiti da una clip introduttiva (audio e video) e da un menu che permette di selezionare un determinato VTS; a questo menu è possibile accedere sempre durante la fruizione del prodotto premendo un opportuno tasto sul telecomando (il tasto *Title*).

Un VTS è a sua volta costituito da una struttura di controllo (denominata *Video Title Set Information*, VTSI) e da uno o più *Titoli*; questi, a loro volta possono essere suddivisi in **parti di titoli** (PTT). La presenza di questa ulteriore suddivisione di un titolo in parti consente la rappresentazione di diverse versioni dello stesso prodotto, realizzando ad esempio il controllo parentale.

I dati all'interno di un singolo titolo (o di una parte di titolo, se il titolo è diviso in parti) sono organizzati in set di oggetti video (*Video Object Sets*, VOBS) ed i set di oggetti video possono contenere uno o più **oggetti video** (VOB). L'**oggetto video** è l'elemento fondamentale del DVD ed è costituito dal video, dall'audio, dai sottotitoli e dai dati per la navigazione. Ogni VOB può essere ancora suddiviso in un certo numero di **celle**; la cella è la più piccola struttura che può essere indirizzata in modo interattivo. La lunghezza della cella, così come quella delle strutture di livello superiore, descritte in precedenza, non è definita dalla specifica: una cella può contenere da un singolo GOP fino all'intero film.

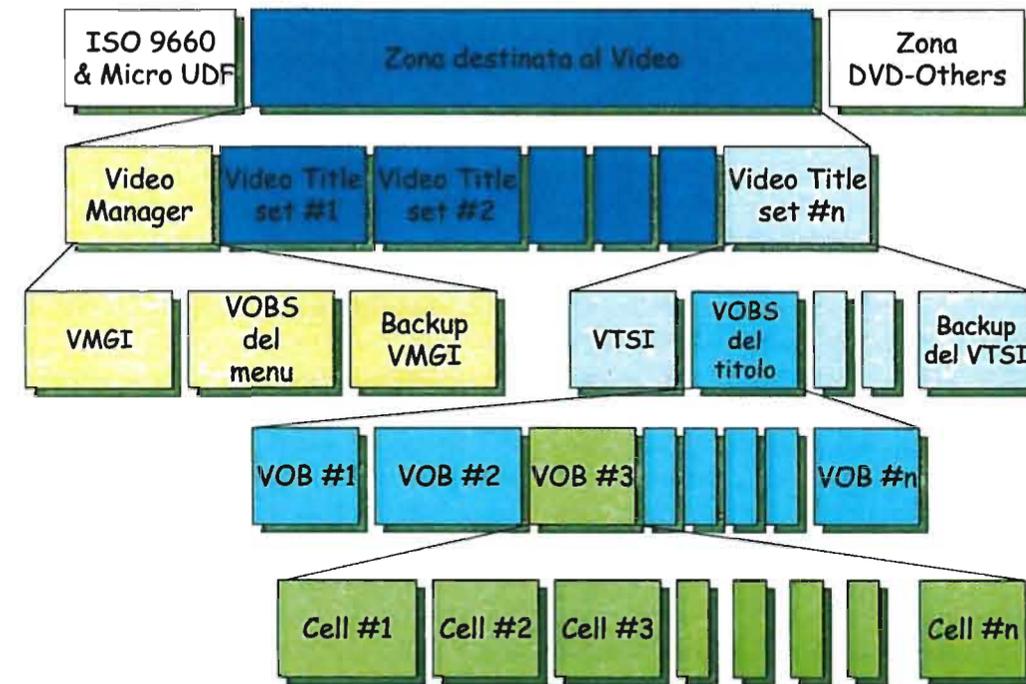



Fig. 8 - Struttura gerarchica della zona del DVD relativa al video.

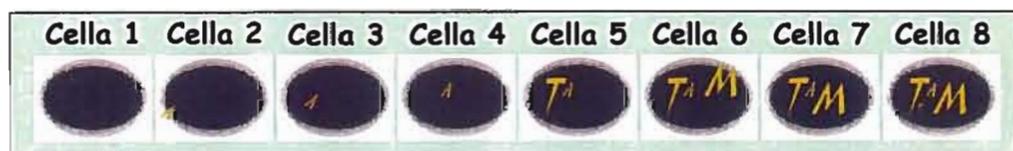
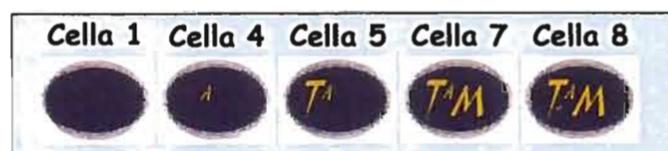
La possibilità di muoversi all'interno del Volume, anche in maniera non lineare, è ottenuta grazie alla catena di programma (*Program Chain*). Una *Program Chain* è costituita da una struttura di controllo (*Program Chain Information,* PGCI) e da uno o più oggetti video (VOB). La struttura di controllo della *Program Chain* stabilisce se e come i VOB devono essere eseguiti ed è fisicamente posta nel VTSI: essa è a sua volta organizzata in una sezione di *pre-comando*, un *gruppo di programmi* ed una sezione di *post-comando*. La sezione di *pre-comando* stabilisce le modalità in cui il gruppo di programmi deve essere eseguito, ad esempio con quale lingua, e definisce le condizioni in base alle quali viene scelto il programma nel gruppo di programmi; il *gruppo di programmi* è costituito dai puntatori ad una o più sequenze di celle (i programmi) che devono essere eseguite in alternativa; la sezione di *post-comando* è una sequenza di comandi che viene eseguita alla fine del programma e contiene il collegamento ad un'altra *Program Chain*. Utilizzando le *Program Chain* è possibile eseguire le celle appartenenti allo stesso VOB in sequenze diverse, realizzando differenti percorsi di fruizione del video riutilizzando lo stesso materiale. Si veda ad esempio la figura 9: la *Program Chain* 1 visualizza tutte le celle di un VOB, mentre la *Program Chain* 2 esegue solo una parte delle celle del medesimo VOB, ottenendo una sequenza diversa riutilizzando lo stesso materiale. I comandi contenuti nelle sezioni di pre-comando e post-comando possono essere scelti in un insieme di 128 comandi standard che implementano le principali funzionalità necessarie. Tali comandi sono suddivisi in cinque categorie: *Jump and link* (salta e collega), *Calculation* (calcolo), *Comparison* (comparazione), *Parameter Setting* (assegnazio-

ne dei valori ai parametri) e *Program Flow* (flusso del programma). I comandi possono essere usati in modo combinato, realizzando funzionalità complesse, quali ad esempio la memorizzazione del punteggio di un videogioco, l'accesso casuale ai titoli, o assicurare un unico finale ad un film. Esistono inoltre comandi detti *dummy* che non fanno riferimento a nessun VOB e possono essere utilizzati per raggruppare i comandi tra loro e muoversi tra i VTS.

Vediamo, a titolo di esempio, come può essere organizzata l'informazione nella struttura presentata in precedenza. Consideriamo un DVD contenente la collezione dei brani più famosi di quindici autori musicali; per ogni autore sono forniti cinque brani ed un filmato sulla vita dell'artista. In questo caso il disco sarebbe così strutturato: un video manager, quindici *Video Title Set* ognuno dei quali contenenti sei titoli, un titolo per ogni brano, e uno per il filmato. La suddivisione del contenuto in questo modo permette all'utente di selezionare l'autore (cioè il titolo) con il tasto *Title* del telecomando ed il brano o il filmato, con il tasto *Menu*.

L'interattività è ottenuta grazie ad opportuni menu. I menu sono costituiti dalla sovrapposizione di uno sfondo, che può essere un'immagine ferma o in movimento, di un'immagine che contiene le voci del menu stesso e da bottoni rettangolari, colorati o trasparenti, che selezionano le zone attive del menu. Sono definiti dalle specifiche un certo numero di menu standard, detti menu di sistema, che devono essere accessibili da tutti i telecomandi. Il telecomando rappresenta infatti l'interfaccia utente standard del DVD e, almeno nelle sue funzionaltà principali, è definito dalle specifiche. I menu di sistema sono: *Title*, che risiede nel *Video Manager* e permette di selezionare il titolo, *Root* (radice), che risiede in ogni VTS e permette di accedere ai titoli di ogni singolo VTS (accessibile con il tasto *"Menu"*), *Part-of-Title*, che permette di accedere ad una parte di un titolo, *audio*, *angle* e *subpictures* attraverso i quali si selezionano la colonna sonora, l'angolo e i sottotitoli.

4.9. La realizzazione dei contenuti per il DVD

Dato l'elevato livello di interattività e multimedialità del DVD, il progetto e la realizzazione del prodotto è un'operazione complessa che richiede competenze in svariati settori professionali che vanno dalla ripresa audio e televisiva, alla grafica, alla regia di prodotti multimediali, e, soprattutto, richiede l'integrazione di tali competenze in tutte le fasi di sviluppo. Nella prima fase di diffusione del DVD (1996-97) la possibilità di eseguire il processo di produzione precedente alla masterizzazione (*pre-mastering*) era di dominio esclusivo delle principali 200-300 aziende che potevano permettersi di affrontare gli alti prezzi degli strumenti necessari e del personale specializzato. Tali strumenti erano utilizzati per lo più per la produzione di film e di video musicali. In questo modo le potenzialità del DVD si riducevano ad un determinato settore e non erano a disposizione delle aziende, che avrebbero potuto utilizzarlo ad esempio per la formazione del personale o la produzione di cataloghi multimediali.

La diffusione del DVD ha evidenziato invece l'esigenza di disporre di sistemi di *pre-mastering* di minore complessità e costo: in particolare è richiesta una elevata integrazione a livello di sistema, ed una maggiore semplicità d'uso [15]. A tale esigenza rispondono alcuni prodotti comparsi recentemente sul mercato che consentono, con un numero limitato di *workstation* (al limite anche una sola) collegate in rete in un unico ambiente integrato, di eseguire l'elaborazione e la compressione dei contributi audio e video, di realizzare i sottotitoli ed i menu e di eseguire la multiplazione dei vari contributi in un'unica sequenza di dati che soddisfi alle specifiche DVD 1.0. In bibliografia citiamo alcuni sistemi che offrono queste possibilità presenti attualmente in commercio ([16] [17] [18] [19]) e gli strumenti software per la creazione di DVD [20].

L'obiettivo della fase di *premastering* è quello di produrre una sequenza di dati che soddisfi alle specifiche, che verrà registrata su un nastro digitale (DLT) o su un DVD-R ed inviata al laboratorio di produzione del master per la realizzazione dei dischi. Solitamente la fase di *premastering* segue una sequenza di passi ben definiti che potremmo così sintetizzare (figura 10):

- progetto
- *bit budgeting*
- produzione e codifica dei contributi audio, video, dei menu e dei sottotitoli,
- *authoring,*
- emulazione e controllo di qualità,
- formattazione.

4.9.1. Progetto

La fase di **progetto** consiste nel definire la struttura di base che il prodotto dovrà avere e il suo grado di interattività, tenendo conto del *target* del prodotto, delle risorse disponibili per la sua produzione e dei tempi. Durante questa fase l'azienda che si occupa della produzione del DVD dovrà definire insieme al cliente il livello di qualità standard richiesto, mettendo in luce le possibilità offerte, ma anche i limiti di questo nuovo mezzo. In questa fase occorre inoltre definire l'elenco del materiale che dovrà essere registrato sul disco (video, audio, grafica per realizzare i menu le immagini fisse e i sottotitoli).

4.9.2 Bit budgeting

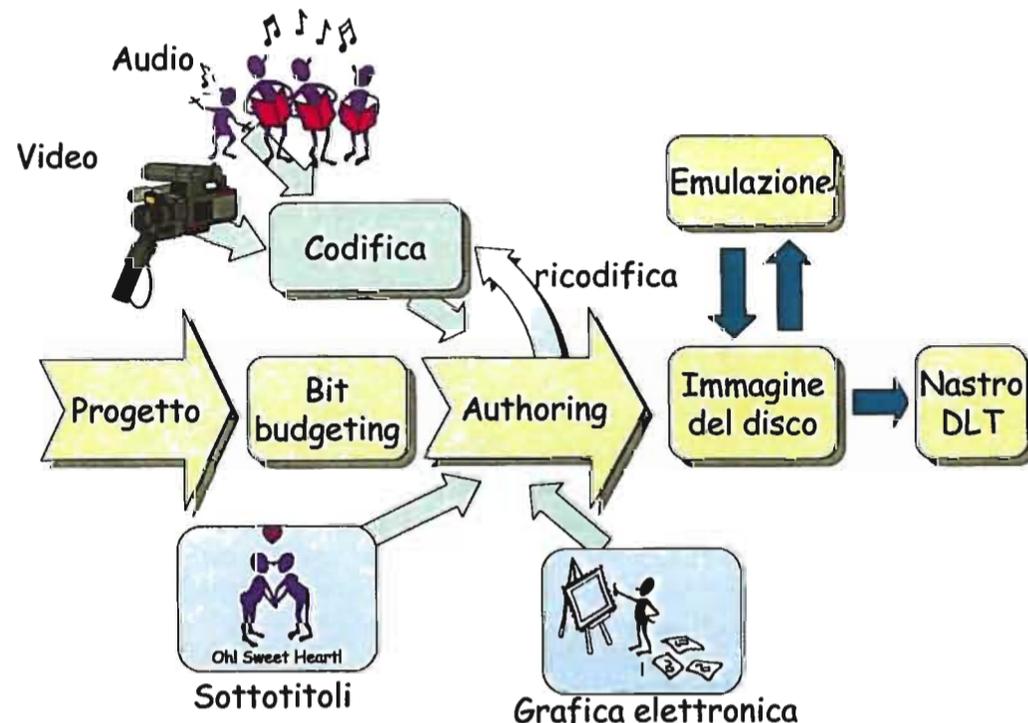
Una volta definiti i contributi che si vogliono integrare nel DVD si passa all fase di **bit budgeting**, cioè alla definizione di come lo spazio disponibile, grande ma non illimitato, debba essere distribuito tra i vari contributi: si tratta di una fase estremamente delicata poiché un errore nell'allocazione dello spazio su disco richiede di riprendere da capo l'in-

Program Chain 1: celle 1,2,3,4,5,6,7,8

Program Chain 2: celle 1,4,5,7,8

Fig. 9 - Esempio di due *Program Chain* che utilizzano lo stesso materiale.

tero progetto con conseguente perdita di risorse e di tempo. Per illustrare come avviene questa fase facciamo un esempio concreto: si voglia realizzare, su un DVD-5 (4,7 GB), un film della durata di 120 minuti, con tre colonne sonore in tre lingue diverse, sottotitoli per ogni lingua e circa 20 file di grafica per menu ed immagini fisse.
Facendo i conti, riportati in figura 11, si ottiene che il nostro film ha disposizione una banda di soli **4,08** Mbps. Prove soggettive svolte a bit-rate costante, si veda ad esempio quelle svolte presso il Centro Ricerche RAI e discusse in [9], dimostrano che tale banda non è sufficiente per realizzare un prodotto di qualità a bit-rate costante. Occorrerà quindi utilizzare la codifica a bit-rate variabile, che permette di codificare con maggiore precisione le scene più complesse, risparmiando banda in quelle più semplici. Essendo il bit-rate massimo che il lettore di DVD deve essere in grado di decodificare pari a 9,8 Mbps, sottraendo a questo la banda dedicata all'audio e ai sottotitoli, si ottiene una disponibilità di banda massima di **8,87** Mbps, che può essere utilizzata nelle sequenze più complesse, più difficili da codificare. Naturalmente l'eccesso di banda utilizzato in queste sequenze dovrà essere compensato da sequenze in cui si utilizza un bit-rate inferiore alla media. Qualora si voglia usufruire anche della possibilità di utilizzare la visione a differenti angolazioni, occorrerà tenere conto del fatto che i vari oggetti video, contenenti le riprese dai vari punti di vista, sono disposti in modo interallacciato sul disco: il lettore deve riprodurre solo i VOB relativi

Fig. 10 - Schema del processo di *pre-mastering* del DVD Video.

Bit budgeting
film da 120 minuti su DVD-5

Spazio disponibile	37600 Mbit -
menu ed immagini fisse (4%)	1504 Mbit=
spazio per audio e video	36096 Mbit :
durata del film 120 x 60 =	7200 s =
banda disponibile per audio e video	5,01 Mbps -
colonna sonora principale (Dolby Surround)	0,384 Mbps
due colonne sonore Dolby stereo	0,384 Mbps
sottotitoli	0,160 Mbps
Banda disponibile per il video	4,08 Mbps

Fig. 11 - *Bit budgeting* per un film da 120 minuti su DVD-5.

al punto di vista richiesto e saltare in lettura tutti gli altri. Questo comporta un rallentamento nella velocità di lettura, tuttavia è possibile mantenere un bit-rate massimo di 7,0 Mbps per il solo video.

4.9.3. Ripresa e codifica dei contributi audio e video

Una volta definito il *bit budgeting* si procede alla **ripresa e codifica dei contributi audio e video.** La codifica del **video** è l'aspetto più importante di tale fase poiché da essa dipende fortemente la qualità standard dell'intero prodotto ed i vincoli in tale processo sono notevoli. Il materiale da cui si parte per la realizzazione del DVD dovrebbe avere una qualità standard decisamente alta; se possibile, conviene partire da video digitale in standard ITU BT-601 con risoluzione 4:2:2 e quindi si parte da un flusso con un bit-rate costante di circa 166 Mbps. Tale flusso deve essere convertito in un flusso MPEG-2 a bit-rate variabile con bit-rate massimo di 9,8 Mbps (nel caso in cui il contenuto sia solo video). Questa necessità di una notevole compressione, coniugata con l'esigenza di mantenere la qualità percepita dall'utente superiore a quella attualmente disponibile su prodotti già in commercio (ad esempio le videocassette VHS) in modo tale da giustificare il passaggio al DVD, richiede un uso attento dell'algoritmo di compressione. Occorre inoltre tenere presente che la codifica MPEG deve essere fatta con una particolare attenzione alla struttura dati del DVD: è infatti necessario che il GoP iniziale di ogni cella che rappresenta l'inizio di un capitolo inizi con un frame di tipo I, in modo che non sia necessario fare riferimento ad una cella in un altro capitolo per ricostruire l'immagine.
Non sempre è possibile partire da materiale video di qualità elevata, specie se si vuole riversare su DVD materiale cinematografico datato. In questo caso, allo scopo di aumentare l'efficienza della codifica il materiale da codificare può subire una fase di preprocessamento [21]. Il rumore video, ad esempio, è equivalente ad una componente di informazione di tipo casuale che si sovrappone al segnale video da comprimere abbassandone la ridondanza e quindi di-

minuendo l'efficienza della compressione e deve essere opprtunamente filtrato. Un'altra elaborazione del segnale che deve essere fatta prima della codifica è il processo di *telecinema inverso* qualora si voglia codificare un film a partire da una sorgente NTSC. Poiché il cinema ha una frequenza di 24 fotogrammi al secondo, nella conversione al sistema NTSC esso viene convertito in una sequenza a 29.97 semiquadri al secondo ripetendo periodicamente dei fotogrammi che non contengono nessuna informazione aggiuntiva. Dato che il decodificatore MPEG contenuto nel lettore DVD ha la capacità di leggere direttamente una sequenza a 24 fotogrammi al secondo, i fotogrammi aggiunti rappresentano una inutile ridondanza e peggiorano la qualità video, introducendo scatti e discontinuità temporali: conviene pertanto che essi vengano eliminati prima del processo di codifica.

Dopo la fase di prepocessamento del materiale video si passa alla compressione vera e propria; questa avviene solitamente in almeno tre passaggi (in generale all'aumentare del numero di passaggi aumenta la qualità del video prodotto).

Il primo passaggio consiste nell'analisi da parte del codificatore del materiale da comprimere per determinare i cambi di scena e di conseguenza la struttura ottimale dei GoP; in questa fase interviene direttamente l'operatore per forzare gli header nei punti in cui si accede ad un oggetto video del DVD. Il risultato finale di questa fase è una lista di controllo del codificatore (*Encoder Control List*, ECL) che servirà nella fase successiva.

Nella seconda fase il codificatore, basandosi sulla ECL, rianalizza il materiale distribuendo il bit-rate in modo tale che sia massimo nei passaggi più complessi (quelli con minore ridondanza spaziale e temporale) e minimo in quelli meno complessi.

Nella terza fase si procede alla codifica effettiva, basandosi sul bit-rate medio e massimo definito durante il *bit budgeting*: un buon codificatore in questa fase regola la scala di quantizzazione quadro per quadro, cercando di mantenerla entro i parametri specificati, anziché regolare il bit-rate con una codifica GoP per GoP.

Ognuno di questi tre passi deve essere fatto in tempo reale, in modo tale da consentire all'operatore di verificare passo passo la qualità del video compresso. È probabile che comunque anche dopo la codifica restino alcune parti del film in cui la qualità del risultato non possa essere ritenuta conforme al livello di qualità standard che si vuole fornire. In questo caso sarà necessario modificare i parametri di codifica di tali parti e ricodificarle: risulta quindi estremamente vantaggioso disporre di uno strumento che permetta di codificare singoli segmenti senza dovere riprocessare tutto il titolo. È possibile, soprattutto se la qualità del materiale di partenza non è molto buona, che a questo punto con i vincoli imposti sul bit-rate medio non si riesca ad ottenere un risultato con la qualità standard desiderata: a questo punto occorre ritornare al *bit budgeting* e destinare maggiore spazio al video, riorganizzando lo spazio in modo adeguato, ad esempio riducendo il numero di colonne sonore.

I **sottotitoli** possono essere realizzati inizialmente come file di testo e poi convertiti in bitmap con un software apposito. Le **immagini fisse** possono essere prodotte con uno dei tanti programmi di grafica e poi convertite in quadri di tipo I della codifica MPEG-2.

La produzione dell'**audio** richiede innanzi tutto che si faccia una scelta tra le varie possibili opzioni consentite dalle specifiche (Dolby Digital stereo, Dolby Digital a 5.1 canali, MPEG-2 Audio) e che all'interno di ogni singola scelta si definiscano i parametri fondamentali, quali frequenza di campionamento e numero di campioni. Tipicamente si parte da una sorgente in formato digitale multitraccia, ad esempio quella in formato Tascam DA-88, a otto traccie a 48 kHz, 16 bit, usata per la codifica Dolby Digital e si procede ad eventuale editing dell'audio. In questa fase occorre fare in modo che, se si utilizzano più di una colonna sonora, le caratteristiche dell'audio siano uguali, in modo tale che l'utente che passa da una versione in una lingua ad un'altra durante la visione del disco non avverta differenze.

4.9.4. Authoring

Una volta effettuati tutti i passaggi descritti in precedenza è possibile passare all'**authoring** del prodotto: questa è la parte più difficile di tutto il processo di *pre-mastering*. Anche se si sta producendo un DVD con un contenuto di interattività non molto elevato, quale ad esempio un film, l'impegno di risorse e di tempo da dedicare a questa parte è comunque notevole in quanto, anche per il semplice film è comunque necessario organizzare contributi di tipo diverso (audio, video, sottotitoli e menu), tenendo sotto controllo la qualità del prodotto complessivo e non solo quella dei singoli contributi. Il processo di *authoring* comprende molte fasi, che possono essere ripetute più volte: sincronizzazione del video e delle varie colonne sonore, importazione o generazione dei sottotitoli, introduzione delle funzioni di controllo, creazione delle *Program Chain* per la realizzazione delle visioni in modalità multi lingua e multi angolo, realizzazione dei menu, definizione delle parti soggette a controllo parentale, definizione del centro dell'azione per la visione in modalità *pan & scan*.

La prima parte della fase di *authoring* consiste nella stesura dello *storyboard*, cioè nella definizione di come tutti i vari contributi sono tra loro collegati ed interagiscono; questa fase può essere fatta anche prima della ripresa dei vari contributi, subito dopo la fase di progetto: in questo modo si ha a disposizione una traccia sulla base della quale è possibile seguire l'intero lavoro. La fase di stesura dello *storyboard* dovrebbe produrre una mappa completa e dettagliata del contenuto del DVD, un elenco dei contributi e uno schema di come essi interagiscono. Una volta prodotto lo *storyboard* si passa alla fase di assemblaggio dei vari contributi (video, audio e sottotitoli). I file relativi a tali contributi vengono collegati tra loro per realizzare oggetti composti da video, uno o più colonne sonore, uno o più sequenze di sottotitoli. Terminata questa fase si passa alla creazione dei menu, assemblando i contributi già prodotti per sfondi, scritte e bottoni. Si passa poi all'editing dei comandi necessari a dare al titolo l'interattività: si realizzano le *Program Chain*, si scrivono i pre e i post-comandi e si creano i collegamenti tra set di titoli e le *Program Chain* e si collegano ad esse i menu. Durante tutte queste fasi è importante che il programma di *authoring* utilizzato consenta all'operatore di vedere in tempo reale il risultato del proprio lavoro, per controllarne la qualità. Solo alla fine di tutto questo processo si passa alla multiplazione del materiale, cioè alla creazione dei VOB, contenenti audio, video e sottotitoli; in questa fase la parte di dati di tipo informativo delle *Program Chain* viene posta nel VTSI di ogni *Video Title Set* e vengono create le informazioni di volume. L'ultimo passaggio della fase di *authoring* è la creazione di una copia del disco: i file prodotti nella fase precedente vengono formattati secondo lo standard UDF e salvati su un *Hard Disk*. In questa fase viene anche aggiunto un codice che servirà durante la produzione per realizzare la codifica CSS. L'immagine del disco così creata viene copiata su un nastro digitale lineare (DLT), oppure, quando diventeranno disponibili, su un DVD-R, e può essere inviata all'azienda che produrrà il master.

4.9.5. Emulazione

Prima che il disco o il nastro venga inviato all'azienda che si occuperà della creazione del master deve essere eseguito un controllo globale della qualità del prodotto, (fase di emulazione), in modo tale da verificare la sincronizzazione tra i vari contributi, il funzionamento dei menu di navigazione e fare un ultimo controllo sulla qualità video. L'ultima fase del processo di *pre-mastering* avviene nell'azienda che curerà il *mastering*: il nastro viene copiato su un *hard disk* e, in base al codice di protezione dalla copia inserito durante l'*authoring* i dati vengono criptati secondo le specifiche. Fatto ciò il contenuto è pronto per essere riversato sul disco.

5. Il DVD audio

Il DVD audio è nato con lo scopo di realizzare un supporto che offra una qualità migliore rispetto all'attuale CD. Poiché la qualità del CD audio è già decisamente buona e l'aumento della frequenza di campionamento e del numero di campioni non sarebbe stato sufficiente a giustificare il passaggio ad un nuovo standard, l'interesse delle aziende partecipanti al DVD Forum si è indirizzato soprattutto alla definizione di formati a più canali, che offrano caratteristiche simili all'audio del DVD video, o addirittura migliori.

La specifica per il DVD Audio, versione 1.0, è stata completata recentemente (ottobre 1998). I formati audio previsti sono gli stessi dell'audio per il DVD video, ma con la possibilità di ricorrere ad algoritmi di compressione senza perdite.

La codifica *Linear Pulse Code Modulation* (LPCM) è obbligatoria e può essere usata su un massimo di sei canali con frequenza di campionamento di 48, 96, 192 kHz e campioni dalla dimensione di 16, 20 o 24 bit, consentendo *teoricamente* una risposta in frequenza fino a 96 kHz ed una dinamica di 144 dB. Tutti gli altri formati (Dolby Digital ed MPEG-2) sono opzionali.

Allo scopo di consentire la memorizzazione di più di un canale audio LPCM è stato approvato dal DVD Forum uno schema di compressione senza perdite (MLP, *Meridian Lossless Packing* [22]) che consente elevati livelli di compressione anche su canali audio a 96 kHz 24 bit. Utilizzando la codifica MLP è possibile registrare da 74 a 135 minuti di musica a sei canali a 96 kHz, 24 bit, mentre senza la codifica MLP non è possibile superare il limite dei 45 minuti. Se si utilizzano solo due canali a 192 kHz, 24 bit si passa da 67 minuti senza codifica a circa 140 minuti.

Esiste un formato concorrente al DVD Audio, proposto da Sony e Philips, il Super Audio CD [23] che sfrutta la tecnologia a doppio strato in questo modo: sullo strato inferiore è registrato l'audio in formato CD, in modo tale che il disco possa essere letto da un normale lettore CD, sullo strato superiore, ad alta densità è invece registrato audio a più elevata qualità conforme allo standard DVD in modo tale che possa essere eseguito su un lettore DVD Audio. Questo formato potrebbe favorire un passaggio graduale dal CD al DVD senza imporre al consumatore di rinunciare ai vecchi lettori CD, oggi estremamente diffusi.

6. I DVD riscrivibili

Al momento esistono due tipi di DVD scrivibili approvati dal DVD Forum, il DVD-R (scrivibile una volta sola) e il DVD RAM (riscrivibile più di una volta):

- Il **DVD-R** è basato su una tecnologia simile a quella degli attuali CD-R: sopra allo strato riflettente è depositata una

tinta sensibile alla temperatura. Quando il laser per la scrittura scalda un punto su questo strato ne cambia il colore, alterando le proprietà riflettenti del disco in tale punto. Il disco DVD-R è leggibile da quasi tutti i lettori di DVD, ma il materiale usato non permette di raggiungere la stessa densità di dati dei DVD singolo strato. Attualmente è possibile registrare su un DVD-R 3,95 GB ma si presume che la tecnologia migliorerà fino a raggiungere i 4,7 GB nel 1999 o nel 2000.

- Il **DVD-RAM** è basato sulla tecnologia a cambiamento di fase: durante la scrittura il raggio laser riscalda punto per punto il lato registrabile del disco. In base al calore applicato, dopo il raffreddamento, rimane una struttura amorfa oppure cristallina del materiale che influisce sul modo in cui lo strato di alluminio sottostante riflette il raggio incidente del lettore. Attualmente il DVD-RAM non è compatibile con gli attuali lettori a causa di differenze nella riflettività dei materiali ma le maggiori case costruttrici hanno comunque annunciato la realizzazione di lettori DVD-ROM in grado di leggere anche i DVD-RAM. La capacità di un DVD-RAM singolo strato è di 2,58 GB.

Il DVD Forum ha inoltre deciso nel marzo 1998 di formulare le specifiche relative al **DVD-RW** (*DVD ReWritable*), dispositivo inizialmente sviluppato da Pioneer indipendentemente come DVD-R/W e che, dopo questa decisione, verrà aggiunto alla famiglia ufficiale dei DVD. Il DVD-RW è anch'esso a tecnologia a cambiamento di fase, ma è una estensione del DVD-ROM, e può essere letto sia dai lettori di DVD ROM, che da quelli di DVD Video, con alcune piccole modifiche. La capacità è di 4,7 GB Sarà in commercio, secondo le previsioni di Pioneer entro la fine del 1999.

Sono in sviluppo inoltre altri due prodotti concorrenti del DVD RAM e del DVD-RW, non ufficialmente approvati dal DVD Forum: il +RW e il MMVF.

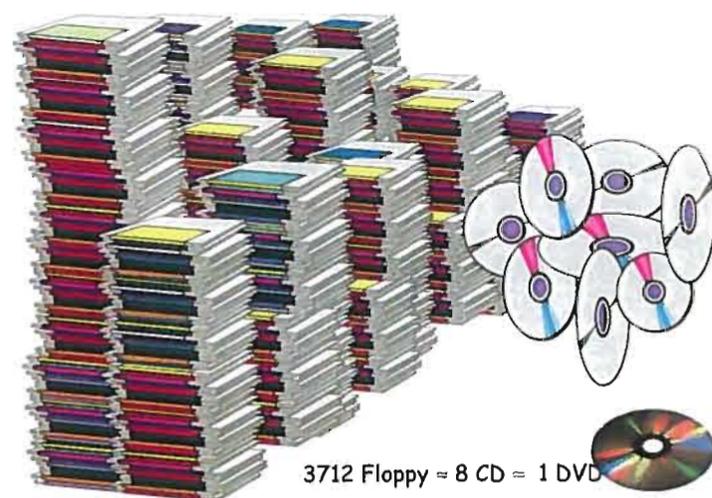
- Il **+RW**, precedentemente detto DVD+RW, è sviluppato da Philips, Sony, HP, ed altri ed è basato sulla tecnologia a cambiamento di fase, come il DVD-RAM, e può essere letto dai lettori DVD-ROM (ma non da quelli DVD-RAM). La capacità è di 2,8 GB.
- **MMVF** (*Multimedia Video Format*), in sviluppo presso NEC, con capacità di 5,5 GB.

Nell'ambito delle memorie di massa riscrivibili non è stata dunque raggiunta, al momento, una convergenza sul formato analoga a quella ottenuta con il DVD Video, infatti, anche se il Forum ha deciso di formulare le specifiche del DVD-RW, i formati concorrenti restano sostenuti da alcune delle maggiori aziende operanti nel settore.

Sono molti i settori che trarranno vantaggio da una diffusione del DVD riscrivibile: questo supporto potrà infatti essere utilizzato nel campo dell'*authoring* di DVD ROM e DVD Video, e in quello della realizzazione di archivi [24]. Sono inoltre in sviluppo telecamere che consentono la ripresa del video e la sua memorizzazione in formato digitale compresso su dischi ottici riscrivibili ad alta densità. Pioneer ha presentato una telecamera in grado di eseguire la compressione del video ripreso e registrarlo direttamente su DVD-RW [25] e NEC ha sviluppato un sistema capace di registrare su un disco riscrivibile doppia faccia da 8,2 GB video compresso in standard MPEG-2 422P@ML[4][26].

Il DVD riscrivibile, indipendentemente da quale dei quattro formati (DVD-RAM, +RW, DVD-RW ed MMVF) si affermerà in maniera definitiva, sembra essere comun-

que destinato a sostituire le memorie magneto-ottiche (MO). I DVD riscrivibili infatti, sono superiori alle memorie magneto-ottiche per capacità, compatibilità (con gli altri tipi di DVD e con i CD-ROM), dimensioni e costo.
Le possibilità di sviluppo nel settore delle memorie magneto-ottiche restano legate soprattutto all'**ASMO** (*Advanced Storage Magneto-Optical)*, anche noto, nella fase di sviluppo, come MO7. Si tratta di un disco magneto-ottico delle dimensioni di un DVD con capacità di memorizzazione di circa 6,4 GB per faccia. ad alta velocità di accesso. I driver ASMO dovrebbero essere in grado di leggere CD-ROM e DVD-ROM. ASMO è stato proposto dalla ASTC (*Advanced Storage Technical Conference*), un consorzio di aziende comprendente tra le altre Fujitsu, Hitachi, Imation, Philips, Sony, Sharp. Fino ad ora nessuna azienda ha annunciato il lancio di prodotti ASMO sul mercato, anche se ciò avvenisse in tempi brevissimi il DVD si troverebbe comunque in netto vantaggio per diffusione e penetrazione di mercato.

Fig. 12 - Capacità a confronto.

7. Il DVD e il Personal Computer

La possibilità di utilizzare il DVD come supporto per l'archivio e la diffusione di dati per il *Personal Computer* appare particolarmente interessante. Il DVD permette, infatti, di superare il limite dei 680 MB degli attuali CD-ROM: la capacità di un DVD ROM da 4,7 GB è pari a quella di 8 CD e di ben 3.712 floppy disc (figura 12)!

Questo notevole incremento nelle capacità risulta particolarmente utile per applicativi, quali database di elevate dimensioni, che attualmente devono essere memorizzati su più CD ROM (ad esempio elenchi telefonici o atlanti stradali). Le applicazioni più promettenti del DVD sono tuttavia legate al settore della multimedialità: fino ad oggi applicativi, software per la formazione e giochi non potevano offrire grandi quantità di grafica animata di buona qualità perché ciò avrebbe richiesto troppo spazio su disco, mentre con l'avvento del DVD sarà possibile sviluppare prodotti ad alto contenuto multimediale, senza restrizioni legate alla capacità del supporto fisico.
Dotando il proprio PC di una scheda hardware per la decodifica di MPEG-2, di una per l'audio AC-3 e di un lettore DVD, è inoltre possibile vedere DVD video sullo schermo del proprio calcolatore. In alternativa è possibile eseguire tutto ciò via software, ma per ottenere risultati soddisfacenti è necessario avere un processore sufficientemente veloce (almeno un *Pentium II* a 300 MHz, o un *Macintosh G3*). I driver per DVD attualmente prodotti sono in grado di leggere anche i normali CD ROM: grazie a questa compatibilità è prevedibile che in tempi abbastanza brevi il driver DVD sostituisca il driver per CD-ROM nella maggior parte dei calcolatori. I driver per DVD attualmente in commercio hanno un tempo di ricerca (*seek time*) di 100-200 ms, e una velocità di trasferimento dei dati di 1,3 MBps con velocità di trasferimento massime di 11.1 MBps (ATAPI PIO Mode 3) o 5 MBps (SCSI-2) o maggiori: la velocità di trasferimento dei dati è dunque equivalente a quella di un CD-ROM 10x. Poiché la velocità di rotazione del DVD deve essere circa tre volte maggiore di quella di un CD, un driver DVD, quando opera come lettore di CD, è almeno un lettore 3x, la maggior parte dei lettori in commercio sono tuttavia equivalenti a lettori CD 12x. I nuovi lettori DVD 2x leggono i CD ROM a velocità di 20x e 24x.

8. Il Divx

Il Divx (*Digital Video Express*) [27] sembra essere il più insidioso concorrente del DVD sul mercato statunitense, dove è stato lanciato sperimentalmente a giugno del 1998. Pur non essendo previsto dalle specifiche ufficiali del DVD Forum, il Divx è sostenuto da una buona parte delle aziende che ne fanno parte (JVC, Panasonic, Pioneer e Thomson) e, soprattutto, da alcune delle più potenti compagnie cinematografiche: è già stato annunciato infatti che Disney, Twentieth Century Fox, Paramount, Universal, MGM e Dream Works SKG realizzeranno dischi Divx. Dal punto di vista fisico il Divx è un DVD, ma i dati sono criptati con un algoritmo triplo DES (*Data Encryption Standard*), che utilizza tre chiavi lunghe ben 56 bit realizzando una forma di codifica che non può in alcun modo essere forzata. Il disco può essere letto solo collegandosi ad un server della casa che distribuisce il prodotto con un modem interno al lettore Divx. Dal punto di vista commerciale questa possibilità è sfruttata in questo modo: il Divx viene veduto ad un prezzo standard (al momento $4.50) e può essere visto liberamente per 48 ore a partire dal primo utilizzo; allo scadere di tale periodo occorre pagare un'ulteriore tariffa di $3.25 per poter continuare ad usare il disco per altre 48 ore.
Come variante del Divx "normale" esiste il Divx *Silver*, che può essere abilitato all'uso permanente, senza limiti di tempo, pagando una volte per tutte una tariffa (che può variare dai 10 ai 20 $) allo scadere del periodo di prova di 48 ore.
Esistono inoltre i Divx *"Gold"* che possono essere acquistati subito senza limiti di tempo come i normali DVD. Il lettore di Divx è mediamente più costoso del lettore DVD (di circa $100) e deve essere collegato ad una linea telefonica per poter funzionare, anche per vedere i Divx *"Gold"*, ma può essere utilizzato anche per i normali DVD. Pur non essendo previste aree di localizzazione il Divx non potrà mai diffondersi oltre i confini degli Stati Uniti, infatti l'esportazione dell'algoritmo triplo DES è vietata da una legge federale; inoltre nessuno dei PC attualmente disponibili è in grado di eseguire la decodifica triplo DES in tempo reale in modo tale da permettere la visione di un Divx sul monitor di un PC.
Il Divx è rivolto a fasce di mercato in parte diverse da quelle a cui si rivolge il DVD, infatti, mentre il DVD mira ad essere un prodotto di elevata qualità da vedere più di una volta e da collezionare, il Divx tende a sostituirsi all'affitto delle videocassette VHS, o alla *Pay per View*, sia via cavo che via satellite. Rispetto all'affitto dei nastri VHS il Divx offre notevoli vantaggi: la qualità è molto migliore, il disco non deve essere restituito, non esistono limiti di tempo tra l'acquisto e la visione del film e utiliz-

zando i Divx *Silver* è offerta la possibilità di vedere il prodotto prima di comprarlo. Rispetto alla *Pay per view*, invece al momento non sembra che il Divx offra grandi vantaggi: il sistema (lettore e dischi) è in generale più costoso e l'utente deve comunque ordinare il disco e aspettare di riceverlo per posta.
Il Divx non offre comunque tutte le possibilità del DVD (sottotitoli e colonne sonore multiple, ad esempio) e potrebbe non risultare gradito ai consumatori per il controllo esercitato dai fornitori del servizio sulle abitudini e gusti dei clienti. È difficile al momento stabilire se questo sistema avrà successo, o se sarà soppiantato dal "semplice" DVD, soprattutto se si svilupperà un forte mercato dell'affitto dei dischi, come già avviene per le videocassette. Molto dipenderà dal favore che il Divx incontrerà sul mercato americano nei prossimi mesi e da quanto le grandi compagnie cinematografiche decideranno di investire nel DVD o nel Divx.

9. Conclusioni

In questo articolo sono state evidenziate le principali caratteristiche tecniche e le possibili applicazioni del DVD mettendone in luce i maggiori vantaggi rispetto ai supporti di memorizzazione tradizionalmente usati sia nel settore del video destinato all'uso domestico che in quello del Personal Computer. La presenza di uno standard comune sia per quanto riguarda il formato fisico del disco che per la codifica dei dati consentirà di realizzare prodotti destinati simultaneamente ad entrambi i mercati, accelerando il processo di convergenza, già in corso, tra il mondo dell'informatica e quello della televisione. Le analisi di mercato compiute in questi primi anni di diffusione del nuovo supporto mostrano che il DVD ha avuto un successo notevole, soprattutto nell'ambito del *Personal Computer*, dove il DVD-ROM può contare sulla compatibilità con il CD-ROM, permettendo un passaggio graduale tra i due formati. Quantunque nell'ambito del DVD video questa compatibilità con prodotti precedenti sia assente, e giochino a sfavore del nuovo formato la presenza di meccanismi di protezione della copia e la regionalizzazione, il DVD ha avuto un successo notevole ed è pensabile che lo sviluppo di strumenti di *authoring* accessibili non solo alle grandi compagnie cinematografiche contribuirà ad una vasta affermazione di questo nuovo supporto.

Ringraziamenti

Gli autori desiderano ringraziare Giovanni Cerruti e Giancarlo De Biase del Centro Ricerche RAI per l'aiuto nella fase di reperimento delle informazioni e nella loro comprensione.

Appendice

Codice di correzione d'errore e codifica di canale

In questa appendice forniamo un approfondimento sulla codifica di canale e sul codice di correzione di errore utilizzati nel DVD, confrontandole con i codici usati nel CD, rimandando comunque ai riferimenti [7, 28] per maggiori dettagli. Nei CD l'informazione binaria, ottenuta per campionamento e quantizzazione del segnale analogico, viene codificata attraverso la concatenazione di due codici, il **CIRC** (*Cross Interleaved Reed-Solomon Code*), per l'individuazione e la correzione degli errori, e l'**EFM** (*Eight to Fourteen Modulation*), per la codifica di canale. Nel DVD, sono invece utilizzati due nuovi schemi di codifica: **RS-PC** (*Reed-Solomon Product Code*), per l'individuazione e la correzione degli errori, e **EFMPlus**, per la codifica di canale.
Nel caso del CD la struttura dei dati è organizzata in trame (*frames*), di 588 bit, corrispondenti a 192 bit di dati non codificati: questo significa che un bit "utente" è codificato con 588/192= **3,05** bit di canale. Nel DVD invece un pacchetto di 2048 byte utente, corrispondente ad un settore, viene codificato con 4836 byte: un bit utente è dunque tradotto in 4836/2048 = **2,36** bit di canale e con un incremento dell'efficienza del formato del **32%** rispetto al CD Audio.
La codifica CIRC, essendo basata sull'interpolazione o la soppressione dei dati che vengono identificati come errati è particolarmente adatta alla correzione dell'audio, che presenta una continuità del segnale nel tempo, ma non è sufficiente per la correzione degli errori nei dati degli applicativi contenuti nei CD-ROM, sui quali non può essere eseguita alcuna interpolazione: questo ha fatto sì che nei CD-ROM fosse introdotto un ulteriore livello di codifica per la correzione degli errori. Tale livello non è necessario nel DVD, dove la codifica RS-PC è sufficiente anche per le applicazioni di tipo informatico; in termini di efficienza di canale questo comporta un aumento delle prestazioni della codifica del **47%**.

A1. Il codice di correzione di errori RS-PC

Gli errori che si possono presentare sia nei CD che nei DVD possono essere classificati in due tipi: errori di tipo *burst*, corrispondenti all'alterazione di una *sequenza* di bit, più o meno lunga, ed errori di tipo casuale, dovuti all'alterazione casuale di pochi bit. Gli errori di tipo *burst* possono essere introdotti sia durante la fase di produzione del disco, per imprecisioni meccaniche nelle fasi di stampo, sia durante la normale vita del supporto, che può essere sottoposto a rigature, abrasioni ecc; gli errori casuali sono invece per lo più dovuti ad imprecisioni del sistema di lettura.
Il codice di correzioni di errori CIRC, studiato dalla Sony per il CD audio è basato sull'applicazione di due stadi di codifica di Reed-Solomon, interlacciati mediante una procedura di ridistribuzione temporale delle informazioni (*interleaving*). Un codice di Reed-Solomon può essere descritto da una coppia di interi $[n,k]$: a partire da parole costituite da k simboli in ingresso la codifica produce parole di n simboli in uscita, introducendo una ridondanza che può essere quantificata dal rapporto n/k: quanto più tale rapporto è prossimo ad uno, tanto più bassa è la ridondanza del codice. Nel caso del CIRC i simboli sono costituiti da ottetti (byte) e le due codifiche sono C_1 [32,28] e C_2 [28,24], il che significa che la ridondanza complessiva delle due codifiche è di 24/32=4/3, cioè che è aggiunto un byte ridonante ogni tre byte utili. Nel caso in cui i codici C_1 e C_2 non riescano a correggere

l'errore la procedura di *interleaving* consente il suo mascheramento tramite interpolazione basata sui dati corretti ricevuti prima e dopo la sequenza di byte errati, o, nei casi più gravi, tramite cancellazione delle sequenze errate e soppressione del segnale audio. Un approccio di questo tipo realizza una degradazione graduale delle prestazioni del disco in caso di parziale danneggiamento del medesimo, evitando brusche degenerazioni nella qualità dell'ascolto.
Per il DVD tuttavia il CIRC è insufficiente sia perché la maggiore densità fisica dei dati li rende più esposti alla possibilità di errore, sia perché, essendo il DVD destinato anche ad applicazioni di tipo informatico, l'affidabilità richiesta è maggiore e non è più possibile usare tecniche di interpolazione. La codifica RS-PC supera i limiti del CIRC: essa è basata sul prodotto di due codici di Reed-Solomon, C_1 [208, 192] e C_2 [182,172]. Quantunque la ridondanza sia minore rispetto al caso del CIRC (essa è infatti pari a (172*192)/(182*208)= 0.872) la codifica RS-PC, essendo basata sul prodotto di due codici, permette di recuperare sequenze di errori di tipo *burst* molto più lunghe. L'individuazione e la correzione degli errori è effettuata su un blocco di dati di sedici settori di 2048 byte. Nella codifica per prodotto, sulla quale non ci diffondiamo, la combinazione dei codici è scelta in modo tale che sui bit di controllo generati da C_1 venga eseguito un controllo con la codifica C_2, realizzando quindi un controllo sul controllo, assente nel CIRC. In questo modo si possono correggere anche lunghe sequenze di byte errati: la massima lunghezza di un errore di tipo *burst* correggibile con RS-PC è di ben 2200 byte, corrispondente a 4,6 mm di traccia danneggiata sul DVD (per il CIRC si arriva ad un massimo di circa 500 byte). Per quanto riguarda la capacità di correzione degli errori casuali un tasso di errore in ingresso del codificatore di $2*10^{-2}$ può essere ridotto ad un tasso di errore in uscita di 10^{-15}.

A2. La codifica di canale: EFMPlus

Per codifica di canale si intende un algoritmo in grado di rendere un segnale numerico più adatto alle caratteristiche del canale stesso.
Il flusso di dati ottenuto con la codifica RS-PC è un flusso del tipo NRZ (Non Ritorno a Zero), inadatto ad essere codificato sul canale essenzialmente per due motivi: la possibilità della creazione di una componente a bassa frequenza e l'assenza di vincoli sul numero massimo e minimo di simboli uguali che possono concatenarsi.
La creazione di una componente a bassa frequenza nel segnale, possibile nelle sequenze di tipo NRZ in caso di un susseguirsi molto lungo di zeri o di uno, è dannosa per i seguenti motivi:
a) il sistema di asservimento del lettore è controllato da segnali a bassa frequenza e quindi ci potrebbe essere interferenza tra tali segnali ed il segnale da decodificare,
b) i disturbi sul segnale, dovuti ad esempio a tracce di sporcizia presenti sul disco, interessando regioni relativamente vaste della superficie, sono a bassa frequenza e deve essere possibile filtrarli senza danneggiare il segnale utile.
L'assenza di un limite superiore sulla lunghezza delle sequenze di simboli uguali, invece, rende difficile la sincronizzazione del lettore, che avviene tramite i fronti d'onda dei dati medesimi. Di contro l'assenza di un limite inferiore su tale parametro causa una elevata frequenza delle transizioni che rende la banda del segnale troppo elevata e, nel caso in cui il canale abbia banda limitata, ciò concorre ad aumentare l'interferenza intersimbolica.
Per tali motivi, già nella definizione delle specifiche del CD si era scelto di utilizzare una codifica di canale di tipo *dc-free* (senza componente continua, cioè senza componenti a bassa frequenza) e *Run-Length Limited* (RLL), cioè tale da imporre un limite inferiore ed uno superiore alla lunghezza delle sequenze di simboli uguali (in inglese *run-length* del codice). Le codifiche di tipo RLL sono caratterizzate da due parametri $T_{min}=d+1$, e $T_{max}=k+1$: d rappresenta il numero minimo di simboli uguali che possono comparire uno dietro l'altro, mentre k rappresenta il numero massimo. La codifica di canale dovrà essere costruita in modo tale da fare sì che questo si traduca, dal punto di vista fisico, nello stabilire una lunghezza massima ed una lunghezza minima per *pit* e *land*.
La codifica EFM (*Eight to Fourteen Modulation*) utilizzata per il CD audio converte parole di 8 bit in opportune parole di 14 bit, ed ha $d=2$ e $k=10$; un uno è rappresentato dalla presenza di una transizione (passaggio *pit-land* o *land-pit*), mentre uno zero dalla sua assenza. La codifica EFM presenta tuttavia il seguente difetto: poiché il codice agisce parola per parola può capitare che tra una parola e l'altra non siano rispettate le condizioni su d e k: per ovviare a tale problema alla fine di ogni parola di 14 bit sono aggiunti 3 bit "di margine" che introducono opportunamente un uno o uno zero in modo da fare sì che le condizioni suddette siano rispettate. Ciò comporta il fatto che ad 8 bit corrispondano 17 bit, e non 14, di cui 3 non rilevanti ai fini della codifica dell'informazione.
Per aumentare l'efficienza della codifica nel DVD viene utilizzata una codifica EFM migliorata, senza bit di margine, denominata EFMPlus (o EFM+) [7]. La codifica EFM+, i cui vincoli su T_{min} e T_{max} sono ancora gli stessi di EFM ($d=2$, $k=10$) consente di codificare una parola in ingresso di 8 bit con una parola in uscita di 16 bit scelta opportunamente in un insieme di diverse parole possibili, corrispondenti alla stessa parola in ingresso, in modo tale da rispettare le condizioni su d e su k anche tra una parola e l'altra; non c'è dunque una corrispondenza biunivoca tra le parole in ingresso e quelle in uscita. Questo introduce una complicazione: per la decodifica di ogni singola parola codificata con EFM+ è necessario conoscere anche due bit della parola successiva. Una parola da 8 bit viene dunque codificata utilizzando complessivamente 16+2=18 bit, mentre EFM ne utilizzava 14+3=17, però EFM+ consente, a fronte di una maggiore complicazione del decodificatore, di riutilizzare i due bit in più per la parola successiva, mentre in EFM i tre bit di margine sono sprecati in quanto non portatori di alcuna informazione.

Bibliografia

1 - *"Addressing the multimedia millennium with a paradigm shift in advanced consumer end equipment design"*, D. A. Jones, atti dell' *International Broadcasting Convention* , Settembre 1998

2 – *"Analysing the technicalities of the DVD-Video production process. The future of the DVD-Video market"*, S. Brandley, atti del convegno *"Networks in the television studio"*, Gennaio 1998

3 dati disponibili al sito Internet http://www.infotechresearch.com e tratti da *"DVD Assessment Third Edition"*, rapporto InfoTech, Maggio 1998.

4 – http://www.idc.com/

5 – http://www.ilsole24ore.it/24oreinformatica/speciale smau2/13/B.htm

6 – http://www.dvdforum.org/

7 - *"The digital Versatile disc (DVD): System requirements and channel coding"*, K.A. Schouhamer Immink, *SMPTE Journal*, Agosto 1996

8 – http://www.panasonic.com/consumer_electronics/dvd/howdvd.htm

9 – *"Un futuro di immagini compresse"*, M. Barbero, M. Stroppiana, Alta Frequenza, vol.7, n.5, settembre - ottobre 1995

10 – *"MPEG-2 Video compression"* , P.N. Tudor, *Electronics & Communications Engineering Journal*, Dicembre 1995. Anche disponibile su Internet alla URL: http://www.bbc.co.uk/rd/pubs/papers/paper_14/paper_14.html

11 presentato da *Pioneer* al *Japan Electronics Show'98*, ottobre 1998, si consulti la URL: http://www.nikkeibp.asiabiztech.com/Database/98_Oct/13/Eve.01.gwif.html

12 - http://www.atsc.org/document.html

13 - http://www.macrovision.com/dvd.html

14 – http://www.osta.org/html/ostatech.html

15 - *"DVD Market Overview"*, *Optibase White Paper*, 1998

16 – http://www.optibase.com/

17 - http://www.minervasys.com/

18 – http://www.desktopdvd.com/

19 – *"Elements of a new authoring system for Digital Video Disk"*, K. Sugiyama, N. Neubert, SMPTE Journal, Novembre 1997.

20 – http://www.scenarist.com/

21 – *"DVD Premastering: a facility's perspective"*, C. Bradley Hunt, *SMPTE Journal*, Settembre 1997

22 – http://www.dolby.com/trademark/meridian.pdf

23 – http://www.news.philips.com/archief/199802171.html

24 – *"From film to digital libraries: an optical disc-based solution"* , A.F. Peregoudov, C.F. Glasman, A.V. Kitaev, V.N. Litchakov, E.V. Nikoulsky, atti dell' *International Broadcasting Convention* , Ottobre1998

25 - *"DVD Application for broadcasting"*, M. Sugimoto, *IAB workshops*, Montreaux, Ottobre 1988

26 – http://www.nec.co.jp/english/today/newsrel/9611/0701.html

27 – http://www.divx.com/

28 – *"Disco Audio Digitale, Standard CD"*, G. Cerruti, Dispensa interna RAI destinata ad uso didattico, Dicembre 1995.

Informazioni sul DVD possono essere reperite anche alle seguenti URL:
http://www.unik.no/~robert/hifi/dvd/
http://www.videodiscovery.com/vdyweb/dvd/dvd-faq.html
http://www.dvdtoday.com/
http://www.dvdinsider.com/

Note

(1) Con il termine *Video on Demand (VoD)* si intende un sistema, basato sulla compressione del video, in grado di fornire programmi su richiesta dell'utente, il quale li ottiene collegandosi ad un server via ISDN o via cavo.

(2) L'apertura numerica (*Numerical Aperture, NA*) di una lente o di un sistema ottico è data dal seno della metà del più ampio cono di luce uscente da tale sistema, essa esprime quindi la capacità del sistema ottico di focalizzare un fascio luminoso entro una breve distanza dalla superficie del sistema.

(3) Ricordiamo che gli schemi di compressione *senza perdite* sono caratterizzati dal fatto che l'algoritmo di compressione riduce la ridondanza statistica della sequenza di bit che codifica l'audio, senza alterarla, restituendo in fase di decompressione la stessa sequenza iniziale, mentre gli algoritmi *con perdite* comprimono l'informazione audio sopprimendo quella parte di informazione che modelli psicofisici dell'udito hanno dimostrato essere irrilevante, o scarsamente rilevante, ai fini della percezione sonora.

(4) La combinazione di profili e livelli dello standard MPEG-2 denominata 422P@ML è usata per applicazioni di tipo professionale, poiché permette di ottenere una qualità superiore rispetto a MP@ML. Il massimo bit-rate consentito è di 50 Mbps.

Il progetto RAINET nella rete dei collegamenti televisivi della Rai

M. D'Onofrio, M. Cianfa, A. De Carolis*

* Ingg. Mauro D'Onofrio, Marcello Cianfa e Alessandra De Carolis della Divisione Trasmissione e Diffusione – Ingegneria Reti di Trasmissione (DIVTD/RT) della RAI.

Gli autori ringraziano vivamente tutti i colleghi della DIVTD/RT RAI per l'attività svolta nell'ambito del progetto RAINET.
Dattiloscritto pervenuto alla Redazione il 12 ottobre 1998.

L'adeguamento tecnologico della Rete di Tramissione della Divisione Trasmissione e Diffusione della RAI rappresenta una premessa importante per svolgere in modo sempre più adeguato gli obblighi previsti nel Contratto di Servizio RAI-Stato. Da questa considerazione è nata l'iniziativa di numerizzazione della rete dei collegamenti televisivi in ponte radio denominata 'progetto RAINET' che porterà alla conversione in tecnologia SDH di circa la metà dell'attuale capacità trasmissiva analogica.

1. La rete dei collegamenti della RAI

1.1. Generalità

La RAI dispone di una propria rete dei collegamenti in ponte radio a lunga distanza, distribuita sull'intero territorio nazionale, in modo da collegare opportunamente tra loro i vari insediamenti aziendali (Sedi regionali, Centri di Produzione, Centri trasmittenti e/o di collegamento). Si tratta di una estesa ed articolata rete di collegamenti, realizzata per rispondere al meglio alle esigenze legate allo svolgimento dei servizi radiotelevisivi, che fa della RAI anche un gestore di telecomunicazioni indirizzate ad uno specifico comparto di servizi.

Tale rete, costituita di circa 120 stazioni, svolge contemporaneamente le funzioni di:

- *rete di distribuzione* in quanto consente di trasportare i programmi radiofonici e televisivi, nazionali e regionali, a tutti i Centri trasmittenti (centri primari di diffusione);
- *rete di contribuzione* in quanto permette lo scambio di programmi e di attività tra Sedi regionali (tipicamente i capoluoghi di regione) e Centri di Produzione (Roma, Milano, Torino e Napoli) così da risultare un indispensabile strumento di lavoro per le Reti televisive e le Testate giornalistiche;
- *rete di servizio* in quanto consente di effettuare una molteplicità di servizi quali: fonia e dati, gestione tecnica, ecc.

Alle funzioni sopra citate provvedono principalmente le seguenti reti di collegamenti in ponte radio (vedi figura 1):

– *la rete dei collegamenti televisivi*, di distribuzione e contribuzione televisiva;
– *la rete dei collegamenti audio e ausiliari*, di distribuzione e contribuzione radiofonica, di trasmissione dati, servizi telefonici ed ausiliari. Oltre a queste, altri mezzi trasmissivi concorrono al soddisfacimento delle esigenze di servizio:

- *collegamenti via satellite* sostanzialmente tramite la Società Nuova Telespazio, in parte utilizzati per molteplici scopi (riprese esterne tramite mezzi mobili attrezzati, riserva per alcuni servizi della rete terrestre in ponte radio, diffusione diretta da satellite);
- *collegamenti in ponti radio mobili*, di volta in volta

The RAINET project in RAI television transmission network. The technological updating of RAI transmission network is an important premise to satisfy in the future better and better RAI obligations towards the State as a public broadcaster. This consideration has been one of the basic principles that have inspired the so called RAINET project, that will provide digitization of RAI television microwave radiolink network converting into digital one half of present analogue frequencies. This project will be realized in three different steps and will end within the year 2000 and will provide a maximum capacity of 2 ¥ STM-1 (2 ¥ 155 Mbit/s) on the main trunks of the network. In this paper, at first, it will be shown the main structure and functions of RAI transmission network, giving prominence to its strategic importance into all RAI production activities. After shortly examining the main criteria and technological choices at the basis of the project, radio equipments, SDH multiplexers and MPEG-2 video codecs, to be installed on the network, will be briefly described. Then some important aspects of RAINET project, related to SDH architecture, quality objectives with associated models, synchronization network and powerful management system, will be dealt with. At the end a possible scenario, which RAI will face in the future to satisfy and increase its offer to the viewers both in terms of contents and technologies involved, is presented.

Fig. 1 - Dorsali principali della rete dei collegamenti in ponte radio della RAI

Centro di collegamento

Sede Regionale

Centro di Produzione (oltre che Sede Regionale)

Fig. 2 - Funzioni della rete dei collegamenti della RAI

installati per collegare occasionalmente i luoghi di ripresa esterna alla rete fissa, che si inseriscono in 50-60 diverse stazioni della rete stessa;

- *collegamenti urbani*, in cavi coassiali o fibre ottiche, che sono presenti essenzialmente nelle città' di Roma, Milano e Torino, e sono utilizzati per collegare i vari insediamenti aziendali, con sedi istituzionali e politiche, con sedi di manifestazioni sportive, culturali, ecc.

In figura 2 è presentato uno schema di principio di alcune delle funzioni sopra elencate.

1.2. La rete dei collegamenti televisivi

Attualmente, ciascun collegamento della rete televisiva aziendale è realizzato con ponti radio analogici a modulazione di frequenza con capacità equivalente a 1800 canali telefonici. Il 90% di tali collegamenti opera nella banda 2 GHz ed ha una lunghezza media di circa 60-70 km, con alcune tratte che superano i 100 km.

Ai fini della distribuzione, tale rete raggiunge tutti i Centri Trasmittenti di diffusione circolare del segnale televisivo agli utenti.

Per quanto riguarda la contribuzione, invece, le esigenze di produzione, in continua crescita, comportano la necessità di un certo numero di collegamenti televisivi entranti ed uscenti da ogni Sede regionale (numero dipendente dalle esigenze contributive di ciascuna Sede), mentre un numero maggiore di collegamenti necessita per i Centri di Produzione. In questo contesto particolarmente critica è la situazione delle dorsali Roma-Milano e Roma-Palermo, dove si hanno picchi elevati di traffico che si concentrano tipicamente in alcuni momenti della giornata e della settimana (si pensi alle esigenze delle Testate giornalistiche a ridosso dei telegiornali o alle esigenze di raccolta dei servizi domenicali sulle partite di calcio, ecc.).

Tale rete ha, quindi, tutte le caratteristiche fondamentali per poter rispondere a tutte le particolari esigenze della produzione radiotelevisiva:

- riconfigurazione dinamica dei circuiti, che la rende flessibile ed adattabile alle più diverse esigenze operative;

• possibilità di effettuare inserimenti, in tutti i nodi della rete stessa, di segnali radiotelevisivi trasferiti dai luoghi di ripresa esterna con l'ausilio di ponti radio mobili.

La rete viene poi integrata dall'uso di collegamenti via satellite sia per aumentare la capacità contributiva della rete di terra (utilizzo di stazioni satellitari trasportabili per contribuzioni da riprese esterne) sia per costituire riserva alla distribuzione terrestre dei programmi nazionali.

2. Il progetto RAINET

2.1. Introduzione

Dalle caratteristiche funzionali e dalle peculiarità della rete dei collegamenti della RAI individuate nel precedente paragrafo, emerge chiaramente l'importanza fondamentale di tale risorsa per la vita aziendale e quindi la strategicità di un'operazione quale è il progetto di numerizzazione della rete dei collegamenti di distribuzione e contribuzione televisiva (e non solo), denominato progetto RAINET.
Obiettivo del progetto RAINET infatti, anche se inizialmente limitato alla sola digitalizzazione dei collegamenti televisivi in ponte radio di distribuzione e contribuzione della RAI, è quello di pervenire nel tempo all'unificazione delle 2 reti dei collegamenti televisivi e dei collegamenti audio-ausiliari, realizzando così un sistema complesso ed integrato in grado di:

• continuare a svolgere tutti i servizi già disponibili con l'attuale rete analogica;
• permettere il trasporto di nuovi servizi digitali quali: canali tematici, DAB-T, DVB-T, MVDS, servizi di consultazione di audio-videoteche, ecc.

Altri obiettivi di tale progetto sono:

• operare un aggiornamento tecnologico della rete così da valorizzare la risorsa, ispirandosi agli standard internazionali di telecomunicazione;
• migliorare lo sfruttamento delle frequenze;
• intervenire con un'azione di rinnovamento su un parco impianti ampiamente ammortizzato;
• ridurre i costi di gestione, grazie anche all'introduzione di concetti innovativi quali il TMN (Telecommunication Management System).

La prima fase del progetto prevede la digitalizzazione in banda 1900-2300 MHz di metà delle frequenze attualmente disponibili in tale gamma.
La parzialità dell'operazione, oltre alla necessità di distribuire nel tempo i relativi investimenti, è principalmente dovuta alla difficoltà di individuare ulteriori frequenze in questa banda che diano sufficienti garanzie ed un sicuro ritorno economico all'investimento fatto. Infatti alcune decisioni, che si sono susseguite in ambito internazionale e nazionale a partire dalla WARC-92 (World Administrative Radio Conference del 1992), hanno portato a pianificare nei prossimi anni l'introduzione di nuovi servizi mobili da satellite (MSS: Mobile Satellite System) e terrestri di terza generazione (UMTS: Universal Mobile Telecommunication System) in ampi segmenti della banda 2 GHz.
Il progetto RAINET consentirà comunque la temporanea coesistenza della rete digitale e di quella analogica restante: sulle dorsali principali Roma-Milano e Roma-Sud, ad esempio, le frequenze al momento disponibili in banda 2 GHz saranno per metà utilizzate dalla rete digitale e per l'altra metà dalla vecchia rete analogica a modulazione di frequenza. Ciò in attesa che il nuovo Piano Nazionale di Ripartizione delle Frequenze in via di approvazione stabilisca le frequenze a 2 GHz che la RAI deve abbandonare, al contempo assegnandole frequenze compensative in altra banda.

2.2. Criticità dell'uso di mezzi alternativi ai ponti radio

Nonostante la preoccupante situazione delle assegnazioni di frequenze in banda 2 GHz, la scelta della RAI di realizzare il progetto RAINET con collegamenti in ponte radio è stata obbligata. Infatti enormi difficoltà di natura tecnico-economica rendono improponibile per la RAI il ricorso a mezzi trasmissivi alternativi quali i collegamenti in fibra ottica o via satellite.

2.2.1. *Collegamenti in fibra ottica*

Una rete di collegamento in fibra ottica non è assolutamente proponibile come rete di distribuzione, data l'ubicazione generalmente in montagna degli impianti di diffusione circolare che essa dovrebbe alimentare.
Riguardo al possibile uso dei collegamenti in fibra ottica in alternativa ai collegamenti in ponte radio di contribuzione, i principali elementi che portano ad escludere in modo netto tale possibilità sono:

• *i costi* che, in evidente contrasto con il criterio di *economicità di gestione* richiesto testualmente nel Contratto di Servizio tra RAI e Stato, sarebbero elevatissimi, sia nel caso di affitto della capacità necessaria da un operatore di telecomunicazioni sia nel caso si realizzi in proprio la rete. Si consideri, poi, che detti costi sarebbero di alcuni ordini di grandezza superiori agli attuali costi di realizzazione e gestione della rete in ponte radio.
• *i tempi* di realizzazione della rete in fibra ottica che sarebbero lunghissimi, mentre oggi nell'accesso alle nuove tecnologie la variabile tempo gioca un ruolo decisivo;
• *la non idoneità a consentire una facile inserzione dei ponti radio mobili* in tutti i nodi della rete in fibra ottica per scopi di riprese esterne.

2.2.2. *Collegamenti via satellite*

L'uso di una rete satellitare alternativa ad una estesa ed articolata rete dei collegamenti in ponte radio quale quella della RAI, è pensabile solo per scopi di integrazione della capacità contributiva della rete di terra: già oggi la RAI fa uso di collegamenti via satellite attraverso stazioni satellitari trasportabili per scopi di riprese esterne. Alcune ipotesi volte alla stima dei costi necessari per l'uso di una rete satellitare alternativa alla intera rete di contribuzione terrestre hanno condotto a cifre esorbitanti per numero di stazioni di up-link da distribuire sul territorio (Sedi regionali e Centri di Produzione), per numero di stazioni trasportabili, per capacità a bordo del satellite, per complessità di gestione delle ricorrenti e sistematiche punte di traffico.
Per quanto riguarda l'uso dei collegamenti satellitari per scopi di distribuzione, la RAI peraltro usa già attualmente:

• collegamenti analogici via satellite Hot Bird I come riserva alla rete di terra, per ottenere una adeguata disponibilità dei propri circuiti end-to-end (in linea con il criterio di *sicurezza di esercizio* richiesto nel Contratto di Servizio);
• collegamenti digitali via satellite Hot Bird II per scopi di diffusione diretta all'utente dei canali terrestri e di alcuni canali tematici.

2.3. Scelte tecnologiche

Le principali tecnologie che caratterizzano l'avvio del progetto RAINET sono la tecnologia SDH (Synchronous Digital Hierarchy) per il trasporto di flussi digitali ad alta capacità e la tecnologia MPEG-2 (Motion Picture Expert Group - 2) per una efficiente codifica digitale dei segnali televisivi, che saranno i primi ad essere trasportati sulla nuova rete digitale.
Per brevità di trattazione non ci si soffermerà a descrivere in dettaglio tali tecnolo-

gie, dato il grande successo che stanno riscuotendo nel mondo del trasporto video digitale e il notevole livello di standardizzazione raggiunto (in bibliografia è comunque presente un elenco dei principali Standard ETSI e Raccomandazioni ITU).

La grande flessibilità della multiplazione SDH (vedi standard ETS 300 147 e Racc. ITU-T G707), permette indifferentemente il trasporto nella trama di flussi a 1.5, 2, 34, 45 e 140 Mbit/s propri delle gerarchie PDH (Plesiochronous Digital Hierarchy) europea ed americana. Infatti il primo livello della gerarchia SDH, chiamato STM-1 (Synchronous Transfer Module di livello 1) avente bit-rate pari a 155 Mbit/s, porta nel suo payload un *contenitore virtuale* di livello 4 (VC-4). Il VC-4 a sua volta può essere formato da un flusso PDH a 140 Mbit/s o da 3 *gruppi di tributari* di livello 3 (TUG-3). Ciascuno di tali TUG-3 può poi essere indifferentemente costituito da 1 *contenitore virtuale* di livello 3 (VC-3), composto da un flusso PDH a 34 o 45 Mbit/s, o da 21 *contenitori virtuali* di livello 11 o 12 (VC-11 o VC-12), ciascuno composto rispettivamente da un flusso PDH a 1.5 o 2 Mbit/s (vedi figura 3).

Nel progetto RAINET, che prevede il trasporto sulle dorsali principali della rete di una capacità pari a 2×STM-1, limitatamente al solo trasporto video, tra le possibilità ora enunciate è stata scelta la multiplazione in ciascuno dei due aggregati STM-1 di 3 flussi tributari PDH a 45 Mbit/s (livello 3 della gerarchia americana), in quanto permette un ottimale sfruttamento della banda a disposizione ed assicura un adeguato livello della qualità video associata al bit-rate netto disponibile per il video (circa 38 Mbit/s).

Altra caratteristica innovativa del SDH risiede nella notevole capacità di trama dedicata a scopi di gestione di rete (configurazione, monitoraggio delle prestazioni in esercizio, gestione remota centralizzata, ecc.). Ciò è ottenuto utilizzando molti byte della sua trama (byte di OverHead o OH) per il trasporto di informazioni di gestione: sia a livello di sezione di multiplazione (byte MSOH modificati dagli ADM nelle operazioni di cross-connessione dei VC), sia a livello di rigenerazione (byte RSOH elaborati dal ponte radio SDH), sia a livello di percorso o path (byte POH presenti nei VC e gestiti nelle schede tributario degli ADM all'atto dell'inserimento/estrazione dei flussi PDH nella/dalla rete SDH).

Grazie all'uso di alcuni byte di SOH e POH, l'SDH è in grado anche di monitorare la qualità di un circuito end-to-end a tutti i livelli di rete ora descritti (Sezione di Multiplazione, Rigenerazione e Path) utilizzando un semplice codice di rivelazione di errore quale il Byte Interleaved Parity (BIP).

Inoltre i 12 byte SOH denominati DCC (Data Communication Channel) consentono il trasferimento dei messaggi di gestione sulla stessa rete che trasporta traffico utile, così da consentire un controllo remoto e centralizzato della rete.

La tecnologia MPEG-2, standardizzata inizialmente come algoritmo 4:2:0 MP@ML (per bit-rate fino a circa 15 Mbit/s), ha avuto fino ad oggi un ruolo prevalente, come standard di codifica digitale di segnali video ed audio, nelle reti di diffusione digitale da satellite (DVB-S) e nelle reti di distribuzione terrestre di programmi televisivi.

Recentemente invece tale tecnologia, con la standardizzazione dell'algoritmo 4:2:2 P@ML (per bit-rate fino a 45 Mbit/s), si è imposta all'attenzione dei broadcaster anche come possibile standard di compressione video per scopi di

STM-1 x 1 AUG x 1 AU-4 VC-4 C-4 139264 Kbit/s
x 3
TUG-3 x 1 TU-3 VC-3 C-3 44736 Kbit/s 34368 Kbit/s
x 7
TUG-2
x 3
TU-12 VC-12 C-12 2048 Kbit/s
VC-11 C-11 1544 Kbit/s
Elaborazione dei puntatori
Multiplazione
Allineamento
Mappatura

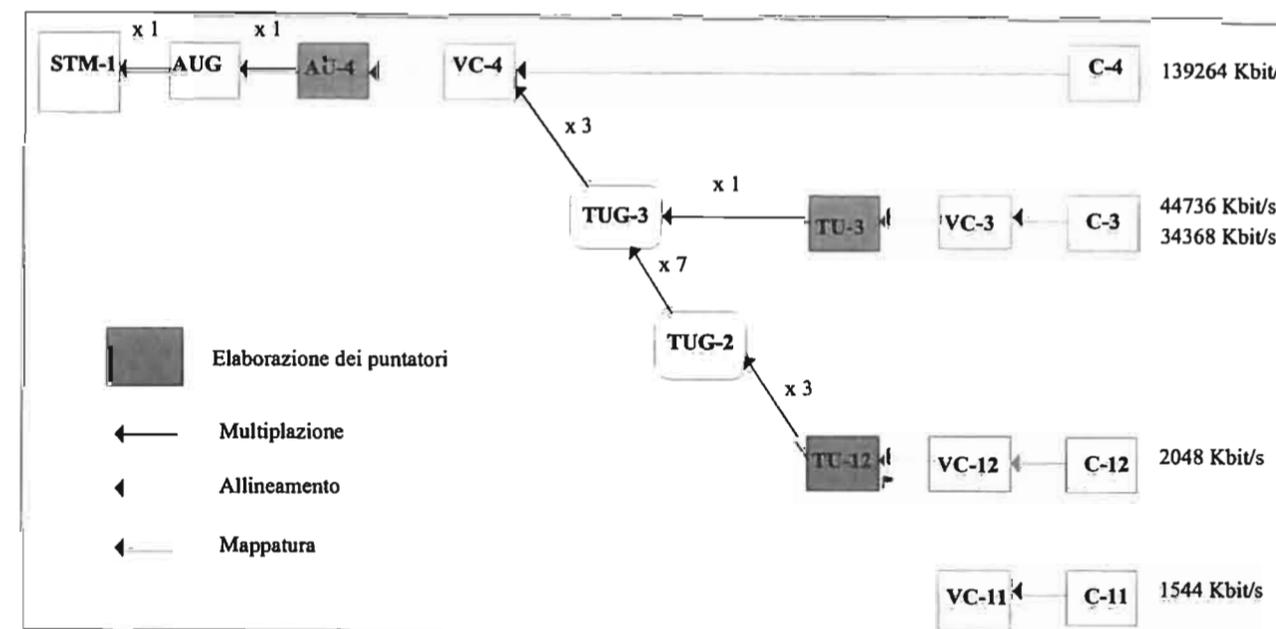



Fig. 3 - Struttura di Multiplazione SDH

contribuzione, diventando così concorrenziale rispetto allo standard ETSI 34 Mbit/s.

Rispetto alla ETSI, la tecnologia MPEG-2 4:2:2 P@ML consente una maggiore flessibilità nello sfruttamento della banda a disposizione (possono essere generati bit-rate in modo continuo nell'intervallo 15-45 Mbit/s), una maggiore efficienza di compressione (migliore qualità video a parità di bit-rate) dovuta all'uso di algoritmi di predizione (uso di frame di tipo P e B anche se a discapito del tempo di ritardo video che risulta tipicamente più alto che nel codec ETSI) ed un semplice interfacciamento con reti diffusive a standard DVB.

L'abbinamento delle due tecnologie di codifica video e trasporto SDH ha messo in luce poi, con le prime sperimentazioni del trasporto video su rete SDH, l'importanza di una corretta sincronizzazione di rete (vedi par. 2.6).

2.4. Apparati della rete SDH

Le tipologie degli apparati che verranno istallati sulla rete per la realizzazione, inizialmente limitata alla sola distribuzione e contribuzione televisiva, del progetto RAINET sono principalmente:

- Ponti radio SDH
- ADM (Add-Drop Multiplexer)
- Co-decodificatori MPEG-2

Per ciascuna di tali classi di apparati vengono nel seguito descritte le principali caratteristiche funzionali con riferimento al progetto RAINET.

2.4.1. Ponti radio SDH

Tali apparati realizzano il trasporto radio di aggregati STM-1, ed operano nel caso del progetto RAINET nelle gamme 1900-2300 MHz (2 GHz), 10700-11700 MHz (11 GHz) e 17700-19700 MHz (18 GHz). In tabella presentiamo le canalizzazioni, le modulazioni e i principali parametri radioelettrici utilizzati per ciascuna gamma di frequenze.

Le modulazioni utilizzate TCM (Trellis Coded Modulation) e BCM (Block Coded Modulation) sono di tipo codificato con associata in ricezione la decodifica di Viterbi, e presentano il vantaggio, rispetto alle

Banda (MHz) Ponte radio SDH	Racc. ITU-R	Modulaz.	Passo di Canalizz. (MHz)	Pot. TX (dBm)	Soglia RX BER=10^{-3} (dBm)
1900-2300	382	128 TCM	29	33	-74
10700-11700	387	64 TCM	40	27	-74.5
17700-19700	595	16 BCM	55	20	-75

modulazioni QAM della stessa classe, di ottenere l'efficienza spettrale richiesta senza dover ricorrere a fattori di roll-off particolarmente critici.
Inoltre le prestazioni dei ponti radio SDH che saranno istallati sulla rete, in termini di curva C/N - BER, curva NFD (Network Filter Discrimination) e firma del ponte radio, sono tali da non richiedere modifiche alle infrastrutture esistenti e da rispettare nella maggioranza dei casi gli obiettivi di qualità ITU.
Altre importanti caratteristiche implementate in tali apparati da menzionare sono:

la funzione ATPC (Automatic Transmitted Power Control) che permette di variare automaticamente la potenza del trasmettitore (un byte RSOH sul canale di ritorno informa sul livello di campo ricevuto presso la stazione remota) di 15 dB tra un valore massimo e minimo (a cui il ponte radio lavora per alte percentuali di tempo). I principali vantaggi che ne conseguono sono il miglioramento della situazione auto-interferenziale nei nodi con alta concentrazione di direttrici ed una sensibile riduzione del consumo di potenza;

il combinatore a IF (Intermediate Frequency) della *diversità di spazio,* che combina i segnali a IF provenienti dalle due antenne in diversità in base ad un algoritmo che massimizza la Potenza Ricevuta e minimizza la Dispersione del segnale combinazione;

l'unità SPS (Switching Protection System) che implementa la *diversità di frequenza N+1* per mezzo di un'unità di commutazione hitless (la cui transizione non introduce errori), che commuta quando necessario (usando un byte RSOH per trasferire indietro al trasmettitore l'informazione di eccessivo BER sul canale ricevuto), tra uno degli N canali operativi e un canale di riserva in stand-by.

L'uso della diversità di spazio e di frequenza si sono dimostrati essenziali, specialmente nella gamma 2 GHz, per garantire il rispetto degli obiettivi di qualità ITU (vedi par.2.5).
In figura 4 è presentato lo schema funzionale di un sistema in ponte radio N+1 in diversità di spazio.

2.4.2. ADM
La flessibilità di configurazione della rete è assicurata dagli ADM SDH che, opportunamente equipaggiati, consentono la terminazione e/o l'inserimento/estrazione di flussi tributari PDH e SDH nonché la permutazione dei VC a tutti i livelli (VC12, VC3 e VC4): ciò consente di paragonare questo apparato ad un piccolo Cross-Connect.
Esso consente l'interfacciamento con tributari corrispondenti ai livelli della gerarchia PDH europea ed americana aventi bit-rate pari a 1.5, 2, 34, 45, 140 Mbit/s nonché con tributari SDH STM-1. L'ADM, in grado di gestire indifferentemente traffico televisivo unidirezionale e traffico bidirezionale di telecomunicazioni, può poi essere configurato a seconda delle esigenze come multiplatore terminale e Add-Drop (vedi figura 5 in cui si evidenzia l'uso del ADM per traffico televisivo).

Il multiplatore SDH può essere utilizzato per permutare traffico in reti ad anello, lineari e punto a punto. Il progetto RAINET prevede l'utilizzo in rete di multiplatori ADM-1 e ADM-4, in grado di gestire una capacità di traffico sulla linea rispettivamente pari ad 1xSTM-1 e 4xSTM-1. L'ADM-4 in particolare verrà utilizzato sulle dorsali di maggior traffico e potrà essere impiegato come concentratore di traffico vista la sua grande equipaggiabilità a livello di tributari (può supportare fino a 12 interfacce STM-1 parzialmente caricate).

Fig. 4 - Schema a blocchi di un sistema in ponte radio N+1 in diversità di spazio

Le principali unità che lo costituiscono sono:
- *l'interfaccia di linea* STM-1 nel caso di ADM-1 o 4xSTM-1 nel caso di ADM-4, di tipo elettrico o ottico a seconda che l'apparato si attesti su una linea in cavo o in fibra ottica;
- *l'interfaccia tributario,* costituita da un certo numero di schede tributario, che consente l'inserimento/estrazione di flussi tributari STM-1, 1x140 Mbit/s, 3x34 Mbit/s, 3x45 Mbit/s, 16x2 Mbit/s;
- *la matrice di cross-connessione* che permette le cross-connessioni tra qualsiasi combinazione di linee e di porte tributario, compresa la connessione tributario-tributario; particolarmente utile è la sua funzionalità denominata VC-broadcasting, che consente la contemporanea estrazione lato tributario e continuazione lato linea di un qualsiasi VC in transito;
- *l'unità Controllore* che opera la funzione di controllo centrale dell'apparato e ne

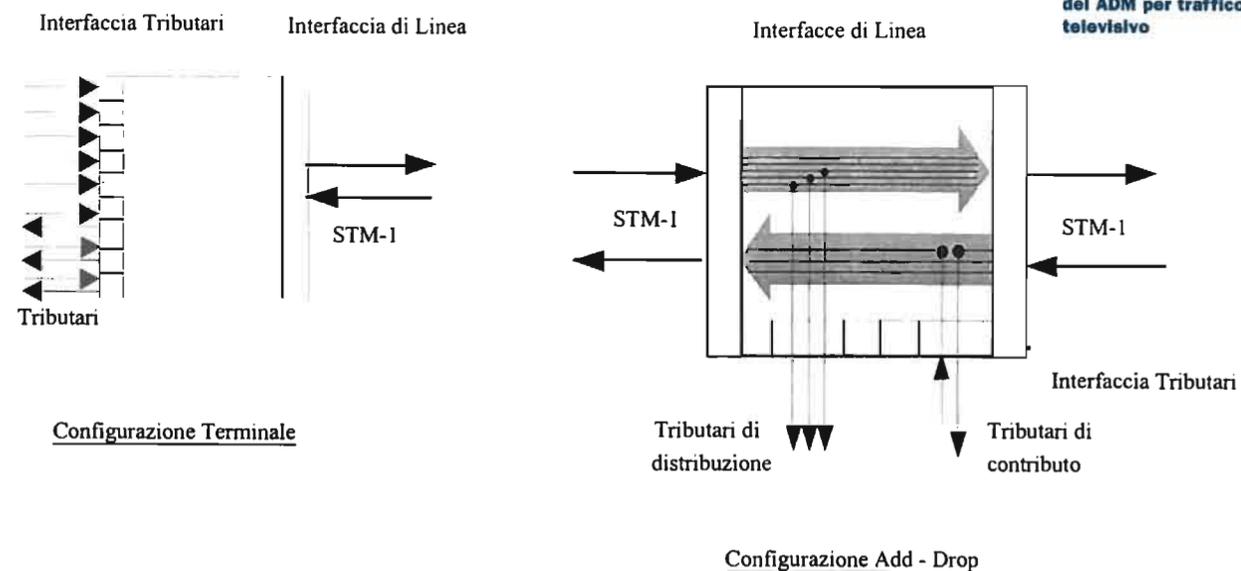



Fig. 5 - Configurazione del ADM per traffico televisivo

consente anche la gestione locale tramite un tipo d'interfaccia denominata "F";

- *l'unita Comunicazioni* che realizza l'instradamento dei messaggi tra l'unità Controllore, l'interfaccia standard denominata "Q" di gestione della rete e i canali DCC delle interfacce SDH.

2.4.3. Codec MPEG-2

Il Co-decodificatore MPEG-2 utilizzato nel progetto RAINET può indifferentemente operare la *codifica di segnali video* secondo l'algoritmo MPEG-2 4:2:0 MP@ML per bit-rate fino a 15 Mbit/s (tipicamente usato per scopi di distribuzione) e l'algoritmo MPEG-2 4:2:2P@ML per bit-rate fino a 45 Mbit/s normalmente usato per segnali video di contribuzione.

La *codifica audio* implementata è la cosiddetta MUSICAM corrispondente all'algoritmo MPEG-1 Layer II.

Il sistema realizza inoltre la *multiplazione* (demultiplazione) di più Single Program Transport Stream MPEG-2 in (da) un MultiProgram Transport Stream (MPTS).

Il codec MPEG-2 è in grado di accettare in ingresso segnali video analogici PAL, NTSC e digitali 4:2:2 ITU-R 601 a 270 Mbit/s (con o senza audio embedded), nonché segnali audio analogici 15 KHz in modo stereo o dual mono e digitali AES/EBU.

Particolare importanza riveste poi l'unità *Network Adapter* (NA), che realizza l'adattamento del MPTS in (da) un flusso tributario PDH inserito (estratto) per mezzo dell'ADM nella (dalla) rete SDH. Le principali funzioni del NA sono:

- la mappatura in trasmissione (demappatura in ricezione) del MTPS in (da) un flusso PDH (corrispondente nel progetto RAINET al 45 Mbit/s), con interfaccia fisica lato rete corrispondente a quella standardizzata nella Racc. ITU-T G.703;
- l'inserimento in trasmissione (l'estrazione e la relativa correzione in ricezione) del codice di correzione di errore Reed-Solomon (188,204) che garantisce ottime prestazioni d'errore sul circuito end-to-end;
- la riduzione in ricezione di variazioni a breve e a lungo termine degli istanti significativi dei flussi digitali trasportati (denominati rispettivamente jitter e wander) in ingresso al NA in modo da assicurare, nel caso di generazione nella rete SDH di eccessivo jitter/wander non filtrato dagli apparati della rete stessa (vedi par. 2.7), il rispetto dei limiti previsti per il PAL in termini di variazione e velocità di variazione della frequenza di sottoportante colore.

Tutte le parti del codec sono infine opportunamente ridondate così da garantire la necessaria disponibilità del sistema.

2.5. Architettura di rete

Il progetto RAINET prevede:

1) sulle dorsali principali della rete e sui rami secondari di accesso a grande capacità (grandi Sedi Regionali e Centri di Produzione) il trasporto via radio di due aggregati digitali STM-1 a 155 Mbit/s (per tale trasporto sono necessari 3 canali in diversità di frequenza 2+1) in ciascuno dei due sensi di percorrenza della rete;

2) sui rami secondari di accesso a minore capacità (le altre Sedi Regionali) il trasporto via radio di un aggregato STM-1 per mezzo di 2 canali radio in diversità di frequenza 1+1 per ciascun verso di trasmissione.

In tutti i nodi relativi al punto 1) saranno istallati degli ADM-4 in grado di gestire lato linea i 2 aggregati STM-1 previsti dal progetto. Gli ADM-1 invece verranno utilizzati nei nodi di cui al punto 2).

Nel caso di un *nodo di dorsale* da cui si diparte un ramo secondario che accede ad una Sede Regionale l'ADM-4 sarà equipaggiato su entrambi i lati linea con due schede STM-1 e lato tributario con altre sche-de STM-1 per derivare il traffico sul ramo secondario verso la Sede. Se tale nodo è anche *nodo di terminazione della rete di distribuzione* (è presente un trasmettitore circolare), sarà necessario equipaggiare l'ADM-4 con interfacce tributari 45 Mbit/s così da estrarre il traffico associato alla distribuzione dei 3 programmi nazionali ed inviarlo ai corrispondenti decodificatori MPEG-2 (vedi figura 6).

Nei *nodi terminali della rete di contribuzione* (Sedi Regionali e Centri di Produzione) sarà necessario equipaggiare l'ADM con le necessarie interfacce tributari 45 Mbit/s così da inserire/estrarre nella/dalla rete SDH tutti i programmi di contribuzione previsti.

L'inserimento dei ponti mobili per scopi di riprese esterne, che nella rete analogica è realizzato con matrici a frequenza intermedia, nella rete digitale avverrà attraverso le interfacce tributario 45 Mbit/s degli ADM.

2.6. Obiettivi di qualità e disponibilità

Il progetto dei collegamenti digitali televisivi in ponte radio risponde, in termini di qualità e disponibilità dei collegamenti stessi, alle relative normative internazionali.

In particolare, gli *obiettivi di qualità* considerati nel progetto sono quelli previsti dalla Racc. ITU-T G.821. Ciò è conseguito dalle seguenti considerazioni:

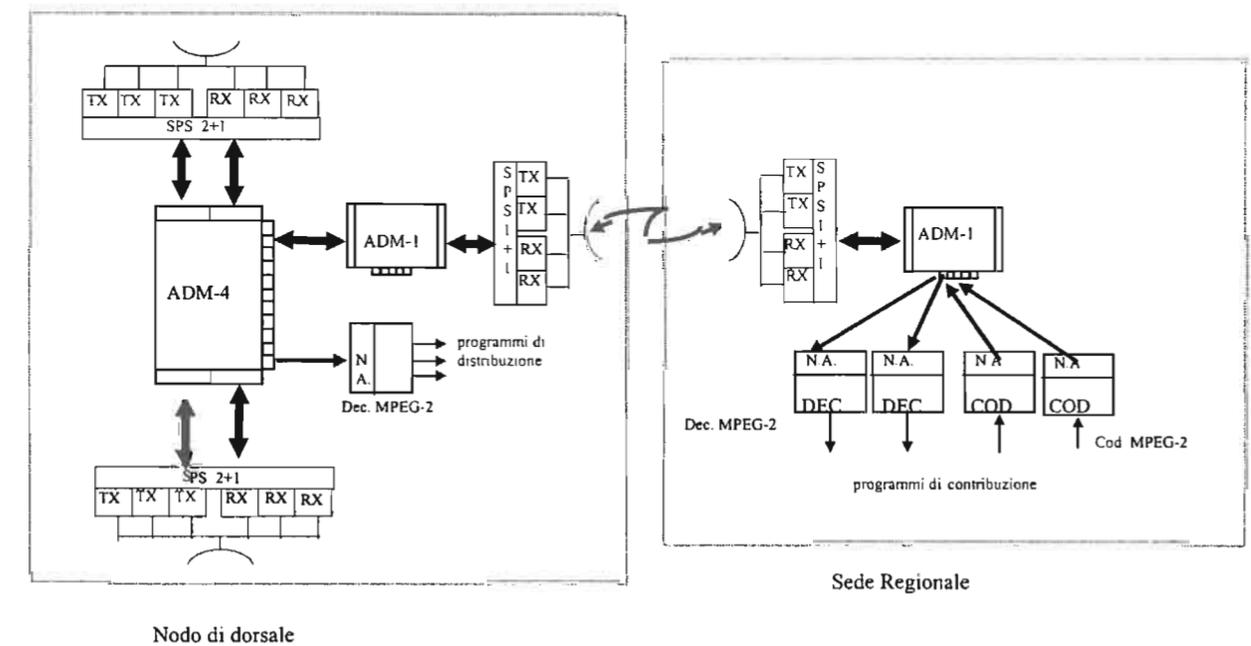
1) la Racc. ITU-R 555 stabilisce per collegamenti televisivi analogici in ponte radio di lunghezza L (km) il seguente obiettivo di qualità, espresso in termini di S/Nvp (rapporto Potenza Segnale utile video pesato / Potenza Rumore):

S/Nvp $\leq$ 45 dB per non più di
T% = 0,1 * (L / 2500)

2) Associando questo obiettivo, da intendere come soglia di continuità del servizio nel caso analogico, all'analogo obiettivo nel caso digitale (il valore di BER massimo di soglia a cui il decodificatore MPEG-2 mostra i primi sporadici errori (QEF: Quasi Error Free) è prossimo al valore BER = 10^{-5}) si ottiene un obiettivo di qualità che risulta essere meno stringente di quello previsto dalla Racc. ITU-T G.821.

3) Si è pertanto scelto l'obiettivo di qualità così come derivato della Racc. ITU-T G.821, cioè:

BER $\geq 10^{-3}$ per non più di
T% = 0,054 * (L / 2500)

Fig. 6 - Architettura di un generico nodo di dorsale e di una sede ad esso collegata

Il modello propagativo usato per verificare la rispondenza delle prestazioni di tutti i collegamenti della rete SDH agli obiettivi suddetti, è stato il modello Telettra, i cui risultati sono poi stati confrontati con i corrispondenti ottenuti tramite il modello CSELT e il modello tedesco per verificarne la congruenza.
È apparsa subito evidente la necessità di usare in quasi tutte le tratte, per soddisfare gli obiettivi di qualità suddetti, la diversità sia di frequenza che di spazio.
È stata individuata inoltre la necessità di sistemi antiriflettenti per alcune tratte particolarmente critiche in cui il ritardo misurato tra raggio diretto e raggio riflesso superava un valore massimo accettabile.

Per quanto riguarda gli *obiettivi di disponibilità* il progetto dei collegamenti SDH risponde alla Racc. ITU-R 557-3 e prevede un tempo di disponibilità del più lungo collegamento individuabile sulla rete non inferiore al 99,9% dell'anno.

2.7. Rete di sincronizzazione

Lo studio condotto da specialisti nel campo del trasporto SDH, della codifica video e della sincronizzazione di rete, insieme all'esperienza acquisita con la sperimentazione da parte di alcuni broadcaster europei, hanno evidenziato la necessità di affrontare con la massima attenzione il problema della sincronizzazione della rete SDH, specie se deputata al trasporto video.

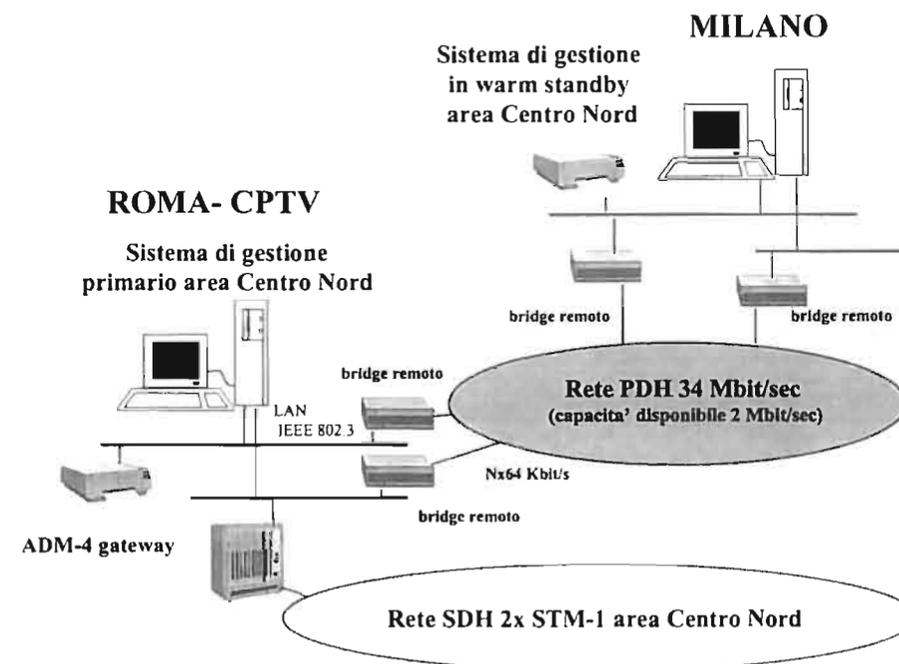
È emerso infatti che in SDH il meccanismo della *giustificazione dei puntatori*, introdotto per compensare le differenze di fase e frequenza tra flussi entranti e uscenti da un nodo di multiplazione/ cross-connessione SDH, può in realtà come effetto secondario introdurre una degradazione del segnale video trasportato sulla rete SDH.
Una sequenza di giustificazioni di puntatore, causata generalmente da problemi sulla sincronizzazione di rete, può generare nella fase di estrazione del flusso PDH dalla trama SDH (processo che avviene nell'unità *desincronizzatore* della scheda tributario dell'ADM) un accumulo di jitter/wander non tollerabile dal decodificatore video, con il conseguente degrado della qualità del segnale video analogico composito PAL in uscita dal decodificatore (identificabile in una variazione della velocità di fase della sottoportante colore e del sincronismo orizzontale fuori dai limiti prescritti per il PAL).

Le contromisure che sono state prese nel progetto RAINET per evitare l'insorgenza dei fenomeni ora descritti sono:
1) la scelta di una opportuna architettura di rete di sincronizzazione, in termini di *qualità e affidabilità del sincronismo trasportato*, così da limitare al minimo fisiologico l'attività dei puntatori sulla rete;
2) l'utilizzo di decodificatori che, abbiano implementato nel Network Adapter un particolare buffer progettato in modo da attenuare il jitter/wander in ingresso a livelli tali da restituire in uscita un segnale video in accordo alle specifiche PAL.
L'elevata *qualità del sincronismo* della rete di sincronizzazione di cui al punto 1) è dovuta all'architettura prescelta per tale rete (rispondente allo standard ETS) che è di tipo master-slave con orologi PRC (Primary Reference Clock) distribuiti. Gli orologi master utilizzati sono 4 orologi di classe PRC (Racc. ITU-T G 811) distribuiti in 4 nodi scelti opportunamente (tra cui Roma e Milano). Tali PRC consistono di un ricevitore GPS (Global Positioning System) in grado di estrarre un segnale di altissima precisione a cui si aggancia un oscillatore al rubidio, che, qualora venga a mancare il segnale da satellite, entra in modo holdover garantendo una precisione pari a 10^{-11} per una settimana. Gli orologi slave di classe SEC (Syncronous Equipment Clock) rispondenti alla Racc. ITU-T G 813 sono gli orologi presenti in tutti gli ADM e i ponti radio della rete SDH.
La *distribuzione inter-nodo* del sincronismo è realizzata attraverso uno degli stessi aggregati STM-1 che trasporta traffico utile sulla rete. Sarà quindi uno dei ponti radio SDH del nodo a ricavare il sincronismo dal STM-1 ricevuto e ad operare la *distribuzione intra-nodo* a tutti gli ADM e agli altri ponti radio del nodo, preferibilmente per mezzo di segnali di sincronismo a 2 MHz o, in assenza di questi, attraverso aggregati STM-1.

Riguardo invece *l'affidabilità del sincronismo* questa è assicurata nel progetto RAINET da:
- la caratteristica della rete di sincronizzazione di autoriconfigurarsi in caso di interruzioni di collegamenti grazie al byte SOH denominato SSMB (Syncronization Status Message Byte), che contiene l'informazione della qualità del sincronismo trasportato e viene letto dall'ADM per decidere il riferimento di sincronizzazione di migliore qualità a cui agganciarsi;
- una adeguata topologia di rete di sincronizzazione, che prevede, nel caso di interruzioni di collegamenti della rete SDH, l'esistenza di almeno un cammino fisico alternativo attraverso il quale, con un'operazione automatica di riconfigurazione, poter connettere il nodo rimasto isolato a seguito dell'interruzione allo stesso o ad un altro PRC.

2.8. Sistema di gestione

Come già accennato nel par. 2.1, la tecnologia SDH nasce, a differenza della tecnologia PDH che l'aveva preceduta, anche per rispondere alle esigenze di gestione della rete per quanto concerne operazioni di configurazione, valutazione delle prestazioni, controllo e monitoraggio sia a livello locale che a livello remoto e centralizzato.
Per ottenere da subito i vantaggi ora descritti, il progetto RAINET parte già nella sua fase iniziale con un sistema di gestione rispondente alla normativa ITU ed ETSI relativa all'architettura TMN in generale (Racc. M.3010, M.3100), nonché all' applicazione del TMN alla tecnologia SDH (Racc. G.784, G.774 e Q.822) e ai codec video MPEG-2.
Il sistema di gestione è normalmente costi-

Fig. 7 - Schema di principio del sistema di gestione per l'Area Centro-Nord

tuito da una workstation, su cui è caricato il software di gestione, connessa in LAN con l'interfaccia "Q" dell' ADM gateway, attraverso il quale il sistema di gestione colloquia con tutti gli altri elementi della rete SDH. Le informazioni di gestione sono poi distribuite a tutti gli apparati della rete SDH per mezzo dei byte SOH DCC degli aggregati STM-1 trasportati sulla rete (vedi figura 7).
La grande quantità degli elementi di rete (Network Element) da gestire ha però comportato, nel caso del progetto RAINET, le seguenti necessità:
• la suddivisione della rete in due principali sottoreti, gestite ciascuna da due sistemi di gestione separati: un sistema di gestione per l'area Centro-Nord previsto a Roma, in configurazione warm-standby con un analogo sistema a Milano, e un sistema di gestione per l'area Centro-Sud separato dal precedente, sempre dislocato a Roma;
• il ricorso allo sfruttamento della rete digitale PDH 34 Mbit/s per il trasporto dei messaggi di gestione, nei casi in cui la capacità di traffico di gestione richiesto si sia rivelata superiore a quella disponibile nella trama SDH (byte DCC).
Tra Roma e Milano la configurazione in warm-standby, che garantisce un'alta affidabilità al sistema, è ottenuta collegando i due sistemi di Roma e di Milano attraverso un bridge remoto che accede ad un flusso 2 Mbit/s (canali Nx64 Kbit/s) della rete RAI PDH a 34 Mbit/s.
Alla gestione super-regionale ora descritta, infine, si aggiunge una gestione di tipo regionale: ogni Sede Regionale ha infatti la possibilità di gestire parte del traffico di propria competenza tramite la gestione remota (utilizzando degli X-terminal) dei soli ADM-1 che inseriscono/estraggono il traffico di competenza della Sede stessa nella/dalla dorsale.

2.9. Prospettive

Il progetto di digitalizzazione, il cui proseguimento rispetto alla prima fase dipenderà dalla disponibilità per la RAI di risorse spettrali in altre bande di frequenza, consentirà alla rete digitale SDH di evolvere verso una integrazione e un potenziamento delle attuali reti di trasporto e porrà la RAI nelle condizioni ottimali per continuare a svolgere a pieno il proprio ruolo di carrier dei tradizionali servizi di contribuzione e distribuzione televisiva, nonché per estenderlo al trasporto dei numerosi nuovi servizi digitali previsti.
Si consideri infatti che la capacità risultante dalla digitalizzazione dovrà non solo soddisfare il traffico televisivo già oggi trasportato, ma anche permettere lo sviluppo di nuove possibilità per aumentare la flessibilità e la produttività della RAI, nonché raccogliere l'invito espresso nel Contratto di Servizio di sperimentare nuovi servizi:
• il trasporto di nuovi canali tematici la cui produzione è stata decentrata anche nei Centri di Produzione periferici;
• la distribuzione di pacchetti digitali per la diffusione di nuovi servizi digitali quali il DAB-T, DVB-T e MVDS;
• servizi di consultazione interattiva a distanza delle audio-video teche della RAI;
• scambio, tra i centri di produzione e le sedi regionali, di contributi ad elevatissimo bit-rate necessario a garantire la qualità richiesta in successive operazioni di post-produzione, nonché di programmi ad alta definizione.

Il progetto di digitalizzazione della rete RAI, la cui prima fase sarà conclusa prevedibilmente entro l'anno 2000, rappresenta pertanto un'operazione strategica di rilancio della risorsa rete di trasporto, che potrebbe risultare decisiva per il posizionamento ed il ruolo che l'azienda RAI avrà nel mercato globale della televisione e/o delle telecomunicazioni del prossimo futuro.

Bibliografia

ITU-T G 703: *Physical / electrical characteristics of hierarchical digital interfaces.*

ITU-T G 707: *Network node interface for the synchronous digital hierarchy (SDH).*

ITU-T G 774: *Network node interface for the synchronous digital hierarchy (SDH).*

ITU-T G 783: *Characteristics of synchronous digital hierarchy (SDH) equipment functional blocks*

ITU-T G 784: *Synchronous digital hierarchy (SDH)management.*

ITU-T G 811: *Timing requirements of the outputs of primary reference clocks suitable for plesiochronous operation of international digital links* (equivalente alla ETS 300 462-6).

ITU-T G 813: *Timing characteristics of SDH equipment slave clocks (SEC)* (equivalente alla ETS 300 462-5)

ITU-T G 821: *Error Performance of an international digital connection*

ITU-T M 3010: *Principles for a Telecommunications management network.*

ITU-T M 3100: *Generic network information model.*

ITU-T Q 822: *Stage 1, stage 2 and stage 3 description for the Q3 interface - Performance management.*

ETS 300 147: *SDH multiplexing structure*

ETS 300 462: *Generic requirements for synchronization networks.*

ETS 300 462-2: *Synchronization network architecture.*

ISO/IEC 13818-2: *Generic Coding of Moving Pictures and Associated Audio.*

ITU-R BT 470: *Television Systems.*

ITU-R BT 601: *Encoding parameters of digital television for studio.*

ITU-R F 382: *Radio frequency channel arrangements for radio relay systems operating in the 2 and 4 GHz band.*

ITU-R F 387: *Radio frequency channel arrangements for radio relay systems operating in the 11 GHz band.*

ITU-R F 555: *Permissible noise in the hypothetical reference circuit of radio relay systems for television.*

ITU-R F 557: *Availability objective for radio relay systems over a hypothetical reference circuit and a hypothetical reference digital path.*

ITU-R F 595: *Radio frequency channel arrangements for radio relay systems operating in the 18 GHz band.*

Servizi multimediali e interattivi nel DAB (Digital Audio Broadcasting)

D. Milanesio, V. Sardella*

* Ingg. Davide Milanesio e Vincenzo Sardella del Centro Ricerche RAI Torino.

Dattiloscritto pervenuto alla Redazione il 20 gennaio 1999.

L'articolo presenta l'attività di sperimentazione in corso al Centro Ricerche RAI sulle possibilità offerte dal DAB per realizzare nuovi servizi multimediali e interattivi. Per affrontare i problemi tecnici e testare le relative architetture di rete sono state sviluppate applicazioni multimediali e proposti esempi di servizi sia in ricezione fissa che mobile. Nuove opportunità di servizi potrebbero inoltre essere offerte dalliintegrazione DAB/navigatore di bordo e dall'utilizzo di un canale di ritorno via Internet/GSM.

Multimedia and interactive services on dab (Digital Audio Broadcasting). The article presents the experimental activity carried out by the RAI Research Centre on the possibilities offered by DAB to create new multimedia and interactive services for fixed, portable and mobile reception in the context of the convergence process among broadcasting, telecommunications, information technology, consumer electronics and the internet. After an overview of the Italian situation concerning the introduction of the DAB service, the different typologies of multimedia services which can be implemented and the main characteristics of the MOT (Multimedia Object Transfer) protocol, standard for DAB data broadcasting, are examined. A certain number of multimedia applications have been developed and examples of new services have been proposed, testing the relevant network architectures. As regards mobile reception in car and the application to the Intelligent transport Systems (ITS), new opportunities could be offered by the integration of DAB with car navigation systems. Moreover, the use of a return channel via Internet/GSM between the user and the service provider allows for the introduction of interactive services.

1. Introduzione

Il DAB (*Digital Audio Broadcasting*) è la soluzione tecnologica più avanzata per la radiodiffusione sonora sviluppata nell'ambito del Consorzio Europeo EU-147, con il contributo della RAI, per portare all'utenza domestica la *qualità Compact Disc* in ricezione mobile, portatile e fissa, senza risentire dei degradamenti introdotti sul canale via etere (riflessioni, rumore, interferenze,...) che spesso peggiorano la qualità dell'attuale servizio radiofonico a modulazione di frequenza (MF).
Elevata qualità, capacità trasmissiva, flessibilità operativa, multimedialità sono le principali caratteristiche del DAB che lo configurano come la più importante innovazione tecnologica nel campo della radiodiffusione sonora dall'invenzione della radio.
La RAI, Concessionaria del Servizio Pubblico, ha aperto la strada all'introduzione del DAB in Italia avviando sin dal 1995 un servizio sperimentale in Valle d'Aosta, estendendolo successivamente in Alto Adige, in accordo con la RAS (Radiotelevisione Azienda Speciale della provincia autonoma di Bolzano), ed in altre aree tra cui Milano e Torino.
La sperimentazione in Valle d'Aosta è stata effettuata, a partire dal 1993, da un "Gruppo di lavoro sul DAB", che è stato coordinato dal Centro Ricerche RAI e si è avvalso del contributo di esperti di varie Strutture RAI, in particolare della Direzione Diffusione e Trasmissione, della sede di Aosta e del Centro di Controllo di Monza.
Il principale obiettivo del Gruppo è stata la realizzazione in Valle d'Aosta, su autorizzazione del Ministero PT, di una rete isofrequenziale (SFN: Single Frequency Network) in banda III (canale H2/VHF) con quattro trasmettitori (St. Vincent, Gerdaz, Blavy e Col de Courtil). La copertura del servizio relativa a questa rete si estende in modo continuo da Ivrea ad Aosta lungo l'autostrada A5 ed include ampie aree pianeggianti, la città di Aosta ed i maggiori centri abitati, aree montane e valli laterali affette da propagazione multipla. Su questa rete sono state effettuate sperimentazioni in campo e campagne di misura, con ricezione fissa e mobile, al fine di ottimizzare l'architettura di rete, individuare le problematiche tecnico-operative e definire adeguati criteri di pianificazione del nuovo servizio digitale [1, 2].
I risultati ottenuti, che confermano le ottime prestazioni del DAB e forniscono i concetti fondamentali per la pianificazione del servizio, sono stati sottoposti al Ministero PT con un Rapporto Tecnico nel giugno 1996.
La RAI è attualmente impegnata dal Contratto di Servizio RAI-Ministero delle Comunicazioni, a estendere, entro il 1999, il servizio DAB a circa il 60% della popolazione italiana. La RAI inoltre, quale membro del DBTA (Digital Broadcasting Technology Association), il Consorzio nazionale fondato per sviluppare le tecnologie digitali nei servizi radiofonici e televisivi sulle reti terrestri, collabora con l'industria nazionale per lo sviluppo della tecnologia DAB.
In questo contesto è stata da alcuni anni stabilita una collaborazione fra la RAI, Concessionaria del Servizio Pubblico, e il Club DAB Italia, in rappresentanza dell'emittenza privata, intesa a creare le condizioni ottimali per l'introduzione del nuovo servizio. Questa collaborazione ha portato alla irradiazione congiunta, da parte dei trasmettitori RAI di Torino-Eremo e Milano-Sempione, di due "blocchi" DAB con i rispettivi segnali RAI e Club DAB Italia.
Sebbene inizialmente ideato per la radiodiffusione sonora, il DAB permette l'introduzione di una grande varietà di prodotti e servizi addizionali, convogliati entro lo stesso multiplex digitale, quali: Informazioni codificate sul Traffico (TMC: Traffic Message Channel), Diffusione Dati, Servizi Multimediali, sia associati al programma radiofonico che indipendenti da esso, Servizi Interattivi.
Applicazioni multimediali ed interattive supportate da un canale diffusivo come il DAB sono chiaramente un esempio della "convergenza" delle tecnologie e dei servizi in atto nel mondo digitale tra "Radiodiffusione", "Telecomunicazioni", "Informatica", "Elettronica di consumo", "Internet" [3, 4].
Lo sviluppo del DAB, quale avanzata soluzione tecnologica per il futuro scenario della radiodiffusione negli anni 2000, favorirà quindi l'introduzione di nuove tipologie di servizi a vantaggio degli utenti, offrendo nello stesso tempo nuove ed interessanti prospettive di sviluppo all'industria nazionale del settore.

2. Il "bouquet" DAB RAI

Una caratteristica importante del sistema DAB è quella di raggruppare (multiplare) più programmi radiofonici su di uno stesso "blocco", per una occupazione spettrale di 1,5 MHz. All'interno di questo blocco trova spazio il "bouquet" o "ensemble" dei programmi radiofonici insieme con gli eventuali servizi multimediali e di diffusione dati.
Il bouquet RAI attualmente in onda nell'area di copertura del servizio è composto da 7 programmi radiofonici, sei in stereofonia ed uno in monofonia, e prevede un sottocanale dati di capacità 32 kbit/s che può essere utilizzato per l'introduzione dell'offerta di nuovi servizi multimediali (Tab. 1).

3. Tipologie di servizi multimediali nel DAB

Applicazioni multimediali sono quelle che utilizzano più di una forma di presentazione, ad esempio suono ed immagine, suono e testo, testo ed immagini. Nel caso più generale si parla comunemente di "ipertesti", che incorporano al loro interno oggetti multimediali e riferimenti ad altri file.
Data la grande diffusione di applicazioni multimediali presenti su Internet, i nuovi servizi dovranno in ogni caso confrontarsi con prodotti già consolidati per

Tabella 1
Ensemble DAB RAI attualmente in onda

Programma	Bit-rate netto (kbit/s)	Livello di protezione	Bit-rate lordo (kbit/s)
Radiouno	192	3	280
Radiodue	192	4	232
Radiotre	192	3	280
Rete Parlamentare	64	4	84
Isoradio	192	3	280
FD 4 (musica leggera)	160	3	232
FD 5 (musica classica)	192	4	280
Servizi multimediali	32	3-A	48
TOTALE	**1216**		**1724**

quanto riguarda la qualità della presentazione.
Nel caso del DAB, in genere e come si vedrà più in dettaglio in seguito, l'informazione sonora è già presente sul programma radiofonico, che quindi può beneficiare della trasmissione di informazioni aggiuntive sotto forma di testi ed immagini che possono essere sincronizzati con l'audio oppure che danno all'utente la possibilità di "navigazione".
La fruizione delle applicazioni multimediali trasmesse via DAB dipende fortemente dalle caratteristiche del ricevitore DAB e dalle sue capacità di visualizzazione.
A questo proposito possiamo distinguere tre classi principali di **ricevitori**:
• Autoradio o ricevitore domestico con piccolo schermo esterno a cristalli li-quidi di dimensioni 4" con formato 1/4 VGA.
• Autoradio con modulo DAB esterno, prive di piccolo schermo e con al più un display a led o cristalli liquidi di tipo testuale posto sul pannello frontale. Alcuni modelli di ricevitori sono provvisti di display di 2 linee di 16 caratteri.
• Schede riceventi DAB per PC, in grado di decodificare audio e dati, con a disposizione tutte le capacità di visualizzazione tipiche di un computer. Un opportuno software permette la sintonia del ricevitore, la eventuale registrazione e riproduzione di parti di programmi, la visualizzazione e la fruizione dei servizi multimediali, memorizzando i relativi file sul disco.

Le modalità di **trasmissione dati** previste dalla normativa DAB sono le seguenti:
• DLS (Dynamic Label Segment): informazioni testuali associate ad uno o più programmi audio;
• PAD (Programme Associated Data): informazioni (testo ed immagini) specifiche per ogni programma che possono arricchire il contenuto del programma;
• NPAD (Non PAD): informazioni multimediali ricevibili indipendentemente dall'ascolto di un programma radiofonico.

Servizi complessi possono essere definiti sovrapponendo ulteriori specifici livelli applicativi a queste modalità di base, trasmettendo ad esempio file eseguibili che gestiscano la presentazione al ricevitore.
Utilizzando un canale di ritorno è poi possibile realizzare l'interazione dell'utente col fornitore dei servizi.

3.1. DLS

Il tipo più semplice di servizio multimediale su di un canale DAB può essere realizzato con la trasmissione di informazioni testuali (DLS) associate ad uno o più programmi audio. Il bit-rate richiesto è dell'ordine di qualche centinaio di bit/s.
Queste informazioni possono essere visualizzate anche dai ricevitori DAB privi di schermo esterno, purché siano dotati del display a caratteri. Sui ricevitori con schermo esterno queste informazioni vengono visualizzate sullo schermo stesso. Per quanto riguarda le schede DAB per PC, il software che le gestisce prevede una apposita finestra sullo schermo per la visualizzazione delle DLS.
Esempi relativi a questo tipo di servizio possono essere la trasmissione del titolo del brano musicale in onda, i titoli delle ultime notizie, brevi informazioni sullo stato del traffico per gli automobilisti.

3.2. PAD

Servizi multimediali di tipo PAD (Programme Associated Data) rappresentano un modo più sofisticato del precedente di associare informazioni addizionali ai canali radiofonici. Queste informazioni, al pari delle DLS, possono essere associate a uno o più programmi audio.
Per generare questi servizi viene utilizzato un "PAD inserter" con il quale viene configurata e generata l'applicazione desiderata. I dati vengono quindi codificati secondo il protocollo MOT (Multimedia Object Transfer protocol), standardizzato per la trasmissione dati sul DAB [5] come si vedrà in seguito, e inviati al codificatore dei segnali audio (Musicam), dove vengono inseriti nella trama DAB insieme con l'audio.
Il massimo bit-rate utilizzabile per questo tipo di servizio è 64 kbit/s.
Per la fruizione di questi servizi è necessario disporre di un ricevitore con schermo integrato oppure di una scheda DAB per PC.
Tramite i servizi PAD possono essere presentate informazioni testuali o immagini fisse a commento del programma radiofonico e sincronizzate con esso in modo slideshow: in questo caso le pagine sono mostrate automaticamente sul visore al loro arrivo. Possono essere trasmessi inoltre servizi di tipo ipertestuale, non sincronizzati con l'audio a cui sono associati, su cui è possibile una navigazione in locale sul ricevitore.
Le applicazioni PAD arricchiscono il contenuto del programma sonoro con immagini e testi. Tale potenzialità consente di introdurre nuovi linguaggi e nuovi format di produzione che possono rendere più attraenti i programmi radiofonici, stabilendo nello stesso tempo nuove forme di collaborazione interdisciplinare fra creativi, personale tecnico e operativo.

3.3. NPAD

Trasmissioni dati di tipo NPAD sono adatte a servizi multimediali non associati ad un programma radiofonico e possono avere un più alto bit-rate rispetto alle applicazioni PAD.
Un completo sottocanale DAB è dedicato alla trasmissione dati usando il protocollo MOT. Il bit-rate massimo definito dallo standard per un singolo sottocanale è 384 kbit/s, ma è possibile arrivare ad occupare l'intero ensemble DAB (circa 1,7 Mbit/s), purché si disponga di un ricevitore in grado di decodificare l'intero ensemble. All'interno di un sottocanale dati DAB è possibile inserire uno o più servizi, con ampia libertà di scelta del bit-rate, a multipli di 8 kbit/s.
Il protocollo MOT permette di trasferire i file mantenendo la struttura a directory degli oggetti originali. Gli ipertesti trasmessi vengono memorizzati sul terminale d'utente, dove è possibile navigare in interattività locale.
Se il ricevitore è un PC dotato di scheda DAB, è possibile utilizzare un browser stan-

dard per Internet (Microsoft Internet Explorer o Netscape Navigator), sfruttando appieno le potenzialità di queste applicazioni.
Se invece il terminale d'utente è un ricevitore DAB dotato di piccolo schermo integrato, le possibilità di navigazione sono più limitate perché affidate a tasti posti sul frontale del ricevitore e non è disponibile un mouse. Inoltre, la normativa attualmente allo studio prevede che i ricevitori siano in grado di implementare la decodifica di un determinato sottoinsieme del linguaggio HTML, lasciando eventuali espansioni ai singoli costruttori. Le principali attuali limitazioni sono le seguenti:

- decodifica di file HTML 2;
- pagine di occupazione di memoria non superiore a 500 kbyte;
- schermo di formato 1/4 VGA;
- immagini di tipo JPEG, PNG e GIF;
- bit-rate massimo per servizio di 384 kbit/s.

Perciò, se si vuole che l'ipertesto sia fruibile anche su questo tipo di ricevitori, questo deve essere progettato opportunamente, tenendo conto delle limitazioni esposte, ad es. limitando le possibilità di navigazione e l'uso di frame o di figure di ampie dimensioni e occupazione di memoria eccessiva.

3.4. Servizi interattivi

Si possono definire diversi livelli di interattività:

• **Interattività locale**, che consiste in una navigazione sul terminale d'utente in un ipertesto precedentemente memorizzato. Questo caso si riconduce a quanto descritto al punto 3.3 (NPAD). La distribuzione dei dati avviene in modo unidirezionale (multicasting) attraverso il downloading dei file ad intervalli programmati o ciclici ("data carousel"). Un esempio del concetto di data carousel è rappresentato dal teletext (Televideo). In questo sistema, l'insieme completo delle pagine teletext è trasmesso ciclicamente in alcune delle righe del segnale televisivo che non fanno parte dell'immagine attiva.

• **Servizi interattivi su richiesta**, in cui l'utente può richiedere al fornitore del servizio (service provider) la trasmissione di particolari informazioni, trasmesse sotto forma di file. Per la richiesta è necessario un collegamento tra utente e fornitore di servizio, realizzabile ad es. mediante GSM per tener conto della mobilità del terminale.

• **Servizi personali**, in cui si instaura un vero colloquio punto-punto tra service provider ed utente, e l'informazione trasmessa tramite DAB può essere una richiesta rivolta allo specifico utente, risultante da una richiesta di un altro utente. Il canale di ritorno, realizzabile ad es. mediante GSM, è necessario sia per effettuare richieste che per inviare informazioni successive al fornitore del servizio (ad es. per la prenotazione di un albergo).

La fruizione rapida di applicazioni multimediali in *interattività locale*, quali servizi dati in cui viene ripetuto ciclicamente il contenuto di un certo numero di oggetti, può essere agevolata dalla capacità di memorizzazione del terminale d'utente.
Se l'applicativo del ricevitore deve accedere ad un particolare oggetto del data carousel, nel caso più generale dovrà attendere la prossima trasmissione di quel file: maggiore è il bit-rate assegnato al servizio (e quindi la banda allocata), minore sarà il tempo di accesso. Tuttavia, il tempo di accesso può essere ridotto se il ricevitore implementa strategie di memorizzazione. Nel caso del teletext, quando un utente richiede una pagina, di solito deve attendere la prossima trasmissione di quella particolare pagina, per un tempo pari al massimo al ciclo completo del data carousel. Questo tempo può però essere ridotto se il decodificatore è di tipo Fasttext, che permette di pre-caricare le pagine che l'utente presumibilmente vorrà vedere dopo quella che ha appena richiesto; altre implementazioni dei ricevitori teletext permettono addirittura la memorizzazione dell'intero data carousel.
Pertanto, la memorizzazione degli oggetti ricevuti è in grado di fornire un più rapido accesso dell'utente ai dati trasmessi. Sarà importante quindi, per le applicazioni multimediali, avere a disposizione sufficienti quantità di memoria nel ricevitore DAB.
Utilizzando una scheda ricevente DAB per PC, il problema della memorizzazione è risolto semplicemente salvando i file su disco.
Nel caso in cui è richiesta una *piena interattività*, se un gran numero di utenti effettua richieste contemporanee, il canale diffusivo, benché di elevata capacità, risulta condiviso tra molti utenti e quindi il bit-rate assegnato a ciascuno si riduce considerevolmente. Questo tipo di applicazioni pare quindi più adatto ad un numero di utenti basso e controllato, o a gruppi di utenti che necessitino di ricevere contemporaneamente le stesse informazioni.

4. Interfaccia verso l'utente e problematiche di sicurezza

Le caratteristiche del DAB sono tali da garantire un'ottima qualità di ricezione anche in ricezione mobile, e di conseguenza molte delle applicazioni multimediali sono pensate per utenti in movimento.
Si rende perciò necessario uno studio approfondito dell'interfaccia verso l'utente in modo da impedire che la fruizione di servizi che richiedono un elevato grado di attenzione comprometta la sicurezza della guida e, nello stesso tempo, permettere una agevole fruizione di alcuni di questi servizi. A tale scopo nell'ambito del WorldDAB Forum, che raggruppa i principali radiodiffusori e costruttori di ricevitori DAB, è stato costituito il gruppo di lavoro HuMIDAB (Human-Machine Interface on DAB).
Le prime indicazioni sono le seguenti:

• Le applicazioni interattive, che richiedono una continua selezione da parte del fruitore, non possono essere considerate rivolte all'utenza in movimento, mentre possono esserlo le applicazioni DLS e PAD di tipo slideshow.

• Tuttavia, anche in questi ultimi casi, è necessario progettare l'applicazione tenendo conto che il guidatore potrebbe essere in grado di leggere le informazioni visualizzate solo saltuariamente. Nel caso di DLS, ad esempio, il testo non deve essere troppo lungo: si può pensare di scrivere solo un breve titolo, fornendo il resto dell'informazione su richiesta mediante un apposito tasto.

• Un sintetizzatore vocale che riproduca l'informazione visualizzata può essere molto utile.

5. Il protocollo MOT

Per la trasmissione di dati sul canale di diffusione DAB è stato definito e normalizzato un apposito protocollo, detto MOT (Multimedia Object Transfer) [5].
La fruizione dei servizi multimediali richiede in generale che sia possibile controllare la loro presentazione (ad es. le dimensioni di un'immagine sullo schermo, o il tipo dei caratteri di un testo). Anche la temporizzazione degli oggetti deve essere presa in considerazione, in modo da sincronizzare i vari elementi della presentazione (ad es. le immagini con l'audio associato).
Il protocollo MOT collega pertanto il mondo chiuso e ben definito del DAB con il mondo aperto dei servizi multimediali e la sua ampia varietà di sistemi e formati di dati. Si occupa di portare l'informazione al terminale d'utente definendo un'interfaccia verso le diverse applicazioni. Non sono però definite specifiche di controllo dell'interpretazione ed esecuzione dei servizi multimediali, che sono lasciate alle singole applicazioni.
Il MOT è un protocollo di tipo "file-oriented". Gli oggetti sono trasmessi su DAB associandone il nome del file di origine comprensivo della sottodirectory di appartenen-

za: questo permette di poter ricostruire in ricezione un'intera struttura a directory.

5.1. Oggetti MOT

Un oggetto MOT è un file di dati che comprende anche informazioni addizionali di controllo, ed è costituito dalle seguenti sezioni: header, header extension, body.

L'*header* contiene informazioni quali la dimensione del body e dell'header extension, e le informazioni sul tipo (testo, immagini, audio, video) e sottotipo di dato (ASCII, HTML, GIF, JPEG, MPEG, ...).

L'*header extension* contiene eventuali parametri per la gestione ed il trasferimento dei dati (es. version number: il ricevitore rinfresca il display solo se il file ricevuto è di una versione successiva a quella già in suo possesso) o per il supporto dell'applicazione (es. tempo di inizio validità);

Il *body* contiene l'informazione "utile" da trasmettere, con formato che dipende dall'applicazione.

In ricezione (figura 1), vengono estratti i dati del body, che costituiscono l'informazione utile, la cui rappresentazione è gestita dalle informazioni contenute nell'header.

Nel caso di applicazioni multimediali complesse, il loro tipo e la modalità della loro rappresentazione devono essere definiti e gestiti a livello di applicativo e non di MOT.

Fig. 1 - Schema della decodifica MOT in ricezione.

5.2. Meccanismo di trasporto degli oggetti MOT

Il meccanismo di trasporto di un oggetto multimediale MOT può essere riassunto dallo schema della figura 2.

La funzione del *Packet Mode Encoder* è di:

- suddividere l'oggetto MOT in segmenti più piccoli,
- gestire le ripetizioni a livello di segmento,
- gestire un eventuale accesso condizionato,
- aggiungere i bit per la correzione degli errori,
- permettere un'eventuale ripetizione dell'header,
- gestire la trasmissione di più oggetti MOT in parallelo.

La figura 3 mostra invece in dettaglio le operazioni che coinvolgono il file originario: dapprima al body sono aggiunti header ed header extension, quindi il flusso originato è suddiviso in segmenti che vanno a comporre i data group, inseriti nel Main Service Channel (MSC) insieme ai pacchetti relativi agli altri servizi audio e dati.

Ognuno dei file da trasmettere è diviso in segmenti di uguale lunghezza, quindi i segmenti di tutti i file sono ripetuti ciclicamente. Ogni segmento è contrassegnato con un identificativo del file a cui appartiene e con un numero d'ordine all'interno del file: in questo modo, in un canale affetto da errori, il sistema funziona anche in presenza di file di grandi dimensioni, poiché la minima porzione di dati che deve essere ricevuta senza errori è un solo segmento piuttosto che l'intero file. Se un segmento è ricevuto con errori, è sufficiente che il ricevitore attenda la successiva ripetizione di quel segmento, ricostruendo l'oggetto grazie all'identificativo del file e al numero d'ordine del segmento all'interno del file.

6. Applicazioni sperimentali PAD

Come detto in precedenza, i servizi di tipo PAD trasportano informazioni multimediali in un flusso DAB a corredo di un programma radiofonico.

Presso il Centro Ricerche RAI sono stati ideati e realizzati alcuni esempi dimostrativi di nuovi programmi radiofonici multimediali basati sulle applicazioni PAD. In questi esempi sono stati evidenziati soprattutto gli elementi tecnici ed operativi, mentre la cultura prevalentemente tecnico-scientifica di coloro che si sono impegnati nelle realizzazioni non ha forse permesso di indagare a fondo gli aspetti creativi ed artistici connessi a queste nuove applicazioni.

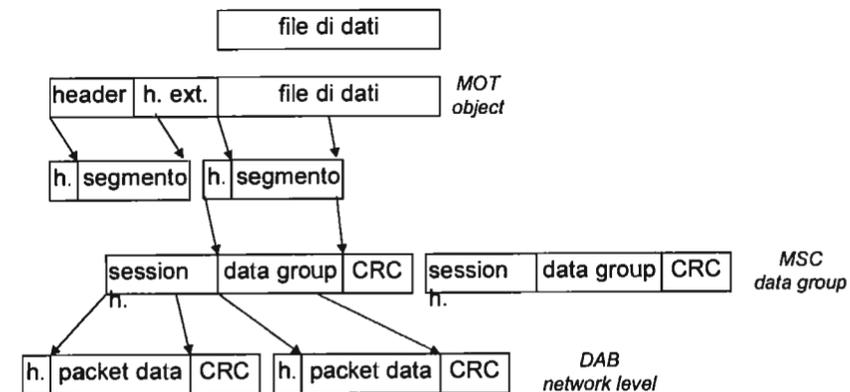
Gli esempi sviluppati comprendono sia applicazioni di tipo non interattivo sincronizzate con il programma radiofonico o comunque riferite ad esso, sia applicazioni interattive a supporto del programma. Gli ipertesti e le pagine di tipo slideshow sono stati dimensionati tenendo conto delle capacità e risoluzioni degli attuali schermi dei ricevitori DAB e delle limitate possibilità di navigazione. Permettono in ogni caso anche la presentazione su PC.

Per avere disponibili i programmi sviluppati per successive trasmissioni senza rendere necessario ogni volta il lavoro di sincronizzazione tra audio e dati per la messa in onda, l'intero flusso dati corrispondente al multiplex DAB (comprendente tutti gli audio, oggetti associati e dati di controllo, con bitrate di 2,048 Mbit/s) viene registrato su disco rigido nel formato ETI-NI (Ensemble Trasport Interface – Network Independent) utilizzando sistemi che permettono la registrazione e la successiva riproduzione di fino a 8 ore di programmazione radiofonica.

Semplici operazioni di drop-insertion effettua-

dati (file multimediale)
session level
MOT Encoder
oggetto MOT
transport level
Packet Mode / PAD Encoder
pacchetti
network level
DAB Multiplexing
sottocanale DAB

Fig. 2 - Schema a blocchi del meccanismo di trasporto di un oggetto MOT.

Fig. 3 - Dal file originario al flusso binario.

te con il multiplexer DAB consentono di effettuare la messa in onda contemporanea del singolo programma registrato insieme con altri programmi in diretta. Per la messa in onda dei programmi sperimentali è stato sostituito il programma FD5 del bouquet RAI con quello appositamente creato denominato RAI PAD.

6.1. Applicazioni PAD contenenti informazioni a supporto del programma audio

Sulla base musicale della *Nona Sinfonia* di L. Van Beethoven, eseguita dai Berliner Philarmoniker diretti da H. Von Karajan, è stato realizzato un esempio di programmazione radiofonica multimediale associando informazioni PAD a supporto del programma audio in modo non sincronizzato. L'applicazione è di tipo interattivo: viene presentata sullo schermo la prima pagina di un ipertesto, scritto in linguaggio HTML, in cui l'ascoltatore può navigare ricavando informazioni sull'autore, gli esecutori e l'opera. La figura 4 mostra alcune pagine dell'ipertesto così come compaiono sullo schermo del ricevitore.

Un secondo esempio è relativo ad un'antologia di brani di musica classica tratta da *"Gran Concerto Classico" - Volume Primo*. Per ognuno dei brani sono visualizzate alcune pagine contenenti informazioni di tipo testuale (figura 5), trasmesse nel formato di immagini per avere una migliore presentazione rispetto al formato testo.

6.2. Applicazioni PAD sincronizzate con il programma radiofonico

Sono stati realizzati tre esempi associando informazioni PAD in sincronismo con il programma audio.

Il primo esempio ha come base musicale la prima parte della *Passione secondo Matteo* di J. S. Bach per una durata di circa 20 min. All'inizio vengono presentate immagini introduttive e informazioni sull'opera e sugli esecutori. Successivamente viene presentato, in sincronismo col programma radiofonico, il testo del libretto e la sua traduzione in italiano. È in corso di realizzazione l'ampliamento di questo esempio ad un'ora di trasmissione, per un totale di circa 70 pagine.

Il secondo esempio è stato realizzato sulla base musicale della *Nona Sinfonia* di Beethoven. Durante i primi 4 movimenti vengono presentate immagini e informazioni generali, mentre nell'ultimo movimento (Ode "Alla gioia") viene visualizzato il testo con la traduzione in italiano.

La figura 6 mostra una pagina per ciascuno dei due esempi sviluppati.

Per migliorare la presentazione, superando le limitazioni insite nel ricevitore DAB relative alla visualizzazione di testo non

Fig. 4 - *Nona Sinfonia* di Beethoven: alcune pagine dell'ipertesto informativo sull'opera.

formattato, è stato utilizzato il linguaggio HTML.

Il terzo esempio si basa sul disco *Watermark* di Enya, cantante irlandese appartenente alla New Age che canta in Inglese e in Gaelico (antica lingua Irlandese). I dati associati sono costituiti da 19 file (16 di testo e 3 di immagini) trasmessi in sincronismo con la musica. Un esempio della visualizzazione su personal computer di questa applicazione PAD è mostrato nella figura 7.

6.3. Limitazioni TECNICHE

Gli esempi sviluppati hanno permesso di evidenziare alcune limitazioni di tipo tecnico nelle possibilità di creare nuovi programmi multimediali basati sulle applicazioni PAD:

- La sincronizzazione degli oggetti con l'audio associato presenta alcuni problemi tecnici, dovuti al fatto che la trasmissione dei file PAD sul canale DAB, a basso bit-rate, non è istantanea, ma richiede un tempo proporzionale alla dimensione del file. Ulteriore ritardo viene introdotto dalla decodifica effettuata dal ricevitore. Occorre quindi tenere conto di questi ritardi in fase di messa in onda dell'oggetto, trasmettendolo sufficientemente prima dell'audio a cui si riferisce. Il ritardo tra la messa in onda e la successiva visualizzazione è approssimativamente 1 minuto per immagini non complesse, e 15 secondi per i testi.
- Le capacità di visualizzazione degli schermi dei diversi ricevitori DAB attualmente in commercio non sono completamente compatibili tra loro.
- Il formato della rappresentazione grafica sullo schermo del ricevitore DAB e la sua risoluzione sono limitati: ad esempio, lo schermo del ricevitore utilizzato ha risoluzione massima di 320 x 240 pixel, ed i file di testo in formato HTML non possono superare le 13 righe di 46 caratteri per riga: ciò rende necessario in molti casi suddividere il testo da trasmettere in un elevato numero di file distinti.

NABUCCO (Va' pensiero)
Giuseppe Verdi (1813 - 1901)

Nel Nabucco, dramma lirico in quattro parti, rappresentato per la prima volta nel 1842, si coglie l'esigenza del musicista di affrontare temi legati all'indipendenza dell'Italia. Proprio per questo gli affreschi corali dell'opera sono così efficaci, specialmente quando vengono descritte le peripezie del popolo ebraico, che rappresentano per antonomasia la ricerca della patria.

Fig. 5 - *Antologia di brani di musica classica*: informazioni sul Nabucco.

```
NR. 15 CHORAL
Erchemme mich, mein Hüter Mein
Hirte, nimm mich an!
Von dir, Quell aller Gütter,
Ist mir viel Guts getan.

N. 15 CORALE
Riconoscimi, mio difensore,
mio pastore, accoglimi!
Da te, fonte d'ogni bene,
ho ricevuto tanti benefici.
```

```
Ode "Alla gioia"

O Freunde, nicht diese Töne!
Sondern laßt uns angenehmere
anstimmen
und freudenvollere!

Amici, non questi suoni;
altro e più grato cantico leviamo:
Di gioia il cantico.
```

Fig. 6 - Esempi di pagine relative alla *Passione secondo Matteo* di J. S. Bach e alla *Nona Sinfonia* di Beethoven, trasmesse in sincronismo con l'audio.

7. Servizi sperimentali NPAD

Per quanto riguarda i servizi multimediali non associati ad un particolare programma radiofonico, si può prevedere un'ampia

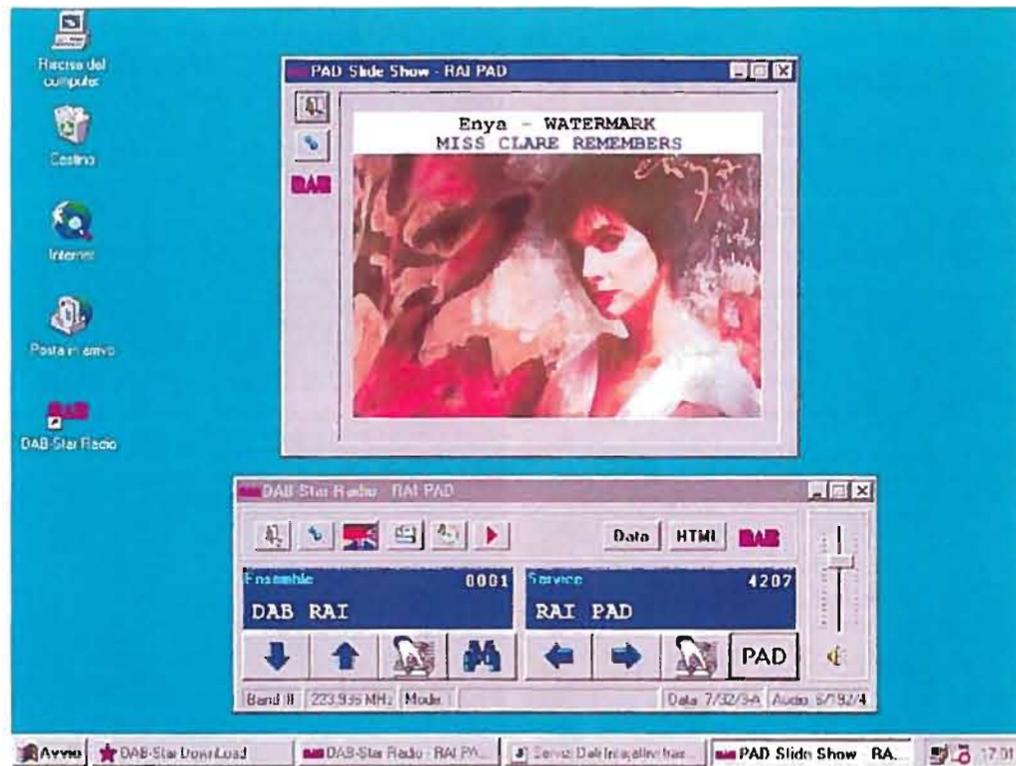



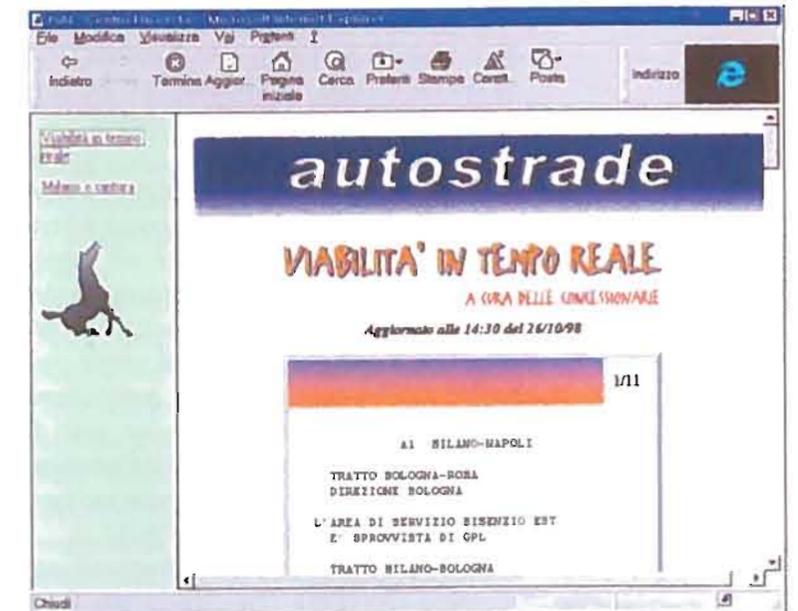
Fig. 7 - *Watermark* (Enya): visualizzazione su PC con scheda DAB.

gamma di applicazioni, comprendenti:
• informazioni turistiche e meteorologiche,
• informazioni sul traffico,
• distribuzione elettronica di giornali,
• informazioni di supporto ai sistemi di navigazione di bordo degli autoveicoli,
• diffusione di informazioni aziendali per sedi periferiche o dipendenti in movimento,
• diffusione di pagine Internet,
• informazioni pubblicitarie, ecc.

Anche queste applicazioni, come quelle di tipo PAD, possono essere fruite tramite ricevitore DAB con schermo integrato oppure tramite PC sfruttandone appieno le capacità di visualizzazione e navigazione.
Presso il Centro Ricerche RAI è stata sviluppata un'architettura di rete per la generazione e la diffusione di servizi multimediali nel DAB, con la quale è possibile introdurre nuovi servizi per l'utenza.
I file associati a questi servizi vengono trasmessi ciclicamente nel sottocanale dati del bouquet DAB e memorizzati dal terminale ricevente, sul quale l'utente naviga in interattività locale.
I nuovi servizi di tipo NPAD possono essere rivolti sia all'utenza generale in ricezione mobile o fissa, che a gruppi specifici di utenti, come per esempio gli automobilisti, i dipendenti di una ditta o gli abbonati ad uno specifico servizio. Diverse tipologie di servizi possono coesistere nello stesso bouquet DAB. Nel caso di servizi specifici per gruppi di utenti, sarà opportuno introdurre forme di indirizzamento e/o criptaggio sulle informazioni.
Il Centro Ricerche RAI ha curato lo sviluppo e la sperimentazione tecnica del sistema, che è stato presentato e dimostrato recentemente allo SMAU (Milano, 22-26 ottobre 1998) in collaborazione con la Divisione Trasmissione e Diffusione.
Per quella occasione sono stati diffusi, nell'area di servizio del trasmettitore DAB di Corso Sempione in Milano, due tipi di servizi, uno destinato a ricevitori con schermo, l'altro a PC con scheda DAB. Ambedue i tipi di ricevitori erano presenti presso lo stand RAI. Gli ipertesti diffusi contenevano informazioni generali sul sistema DAB, sul Centro Ricerche RAI, sullo SMAU, informazioni meteorologiche, pagine di Televideo e la situazione di viabilità delle autostrade ricavata da Internet. Da un server dello stand era possibile aggiornare in tempo reale le informazioni trasmesse, interagendo via Internet col server di trasmissione e messa in onda posto presso la sede RAI di Corso Sempione. La diffusione dei servizi multimediali utilizzava il canale dati a 32 kbit/s del bouquet DAB RAI.
La figura 8 riporta, a titolo dimostrativo, alcune pagine degli ipertesti, visualizzate sia su PC che sullo schermo del ricevitore.

a)

b)

Attualmente il sistema sviluppato richiede interventi manuali per la generazione e l'aggiornamento delle pagine ipertestuali, ma sono allo studio procedure software che renderanno automatica sia la fase di reperimento delle informazioni da Internet o da eventuali Service Provider, che quella di messa in onda dei file una volta aggiornati. In questo caso il sistema permetterebbe la diffusione di servizi multimediali a carattere innovativo in modo completamente automatico.

7.1 Architettura di sistema

L'architettura del sistema è evidenziata nella figura 9.
Il sottosistema di generazione e messa in onda si basa su un server di trasmissione (DAB server) e su uno o più server che gestiscono l'aggiornamento tramite Internet del DAB server (Web server).
L'utente riceve le informazioni multimediali tramite un ricevitore DAB provvisto di pic-

Fig. 8 - Dimostrazione di servizi NPAD presso lo stand RAI allo SMAU: a) visualizzazione su PC b) visualizzazione su schermo integrato nel ricevitore DAB.

colo schermo in ricezione mobile, oppure su un personal computer dotato di scheda DAB in ricezione fissa. La ricezione con PC portatili o lap-top computer è allo studio.

Le informazioni multimediali risiedono sul server di trasmissione (*DAB server*) e vengono trasmesse continuamente sul canale dati del DAB. La funzione principale del DAB server è quella di formattare i dati con il protocollo MOT. Il DAB server può essere inserito presso il sito di generazione dei programmi o in qualunque sito di rimultiplazione del bouquet. Il collegamento con il multiplexer DAB avviene mediante l'interfaccia standard WG1/WG2.
Il *Web server* ha una duplice funzione: aggiornare l'ipertesto che risiede sul DAB server con informazioni che possono essere scaricate da Internet e aggiornare le tabelle dei singoli files relative al protocollo MOT per gestire la corretta trasmissione quando l'ipertesto viene modificato. Il colloquio tra i due server avviene via Internet tramite FTP.
Opportuni programmi sviluppati dal Centro Ricerche RAI e residenti sul Web server implementano queste funzioni per l'aggiornamento dell'ipertesto e la successiva messa in onda. Sono allo studio procedure software che renderanno automatica sia la fase di reperimento delle informazioni da Internet o da eventuali Service Provider, che quella di messa in onda dei files aggiornati.

Fig. 9 - Architettura di sistema per servizi NPAD.

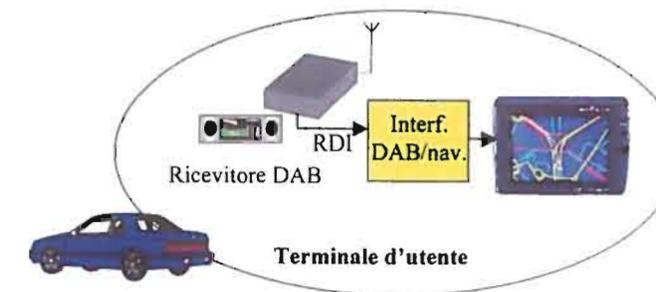
7.2 Integrazione col navigatore di bordo degli autoveicoli

Negli ultimi anni le tecnologie telematiche applicate agli autoveicoli hanno portato alla realizzazione di sistemi di navigazione, proposti da varie aziende come accessori su veicoli di classe elevata. Contemporaneamente anche a livello internazionale sono in corso attività finalizzate alla introduzione dei cosiddetti sistemi di trasporto intelligenti (ITS: Intelligent Transport Systems) che, combinando le tecnologie Informatiche, delle Comunicazioni e dei Trasporti, mirano ad ottenere un aumento nella sicurezza dei trasporti e nel comfort dei viaggiatori e nello stesso tempo una riduzione della congestione del traffico e dell'impatto ambientale dei trasporti.
I sistemi di navigazione per autoveicoli utilizzano i segnali di un ricevitore GPS (Global Positioning System), di un giroscopio e di un sensore di distanza (odometro) per mantere continuamente aggiornata la posizione del veicolo su di una mappa stradale visualizzata su uno schermo. In genere è disponibile anche una funzione di calcolo del percorso ottimale per raggiungere una specifica destinazione. Un sintetizzatore vocale informa inoltre il guidatore sulle manovre da effettuare. Le mappe stradali sono in genere residenti su CD-ROM.

Un sistema di navigazione di bordo, e più in generale un sistema intelligente di trasporto, potrebbe beneficiare di una serie di servizi trasmessi via DAB, che è stato progettato specificatamente per la ricezione mobile, attuando progressivamente una integrazione tra le diverse tecnologie presenti sugli autoveicoli.
Funzioni di base di tipo testuale possono essere fornite dal TMC (Traffic Message Channel), i cui 37 bit sono già previsti all'interno del FIC (Fast Information Channel) nel flusso DAB; le informazioni d'interesse per lo specifico utente possono essere filtrate mediante le informazioni di TII (Transmitter Identification Information).
La possibilità di fornire informazioni ai navigatori di bordo degli autoveicoli trasmettendole via DAB è attualmente allo studio presso il Centro Ricerche RAI in collaborazione con Aziende del settore.
Le informazioni trasmesse via DAB possono integrare o aggiornare quelle già presenti a bordo, comprendendo:

- Messaggi codificati sul traffico (TMC).
- Informazioni in tempo reale sulla viabilità locale (rallentamenti, incidenti, lavori in corso...).
- Informazioni in tempo reale sui tempi di percorribilità della rete stradale.
- Aggiornamento delle mappe stradali residenti sul navigatore di bordo, utile nel caso di modifiche rispetto a quelle contenute nel CD-ROM (ZTL, apertura di nuove strade, ecc.). L'invio complessivo di tutta la mappa, anche solamente relativa alla zona interessata, non sembra attuabile in quanto richiederebbe capacità trasmissive molto più elevate di quelle disponibili, oppure une rete DAB di tipo cellulare.
- Informazioni generali e turistiche (punti di interesse turistico, parcheggi, hotel...).

Il navigatore di bordo potrebbe visualizzare e localizzare sul display queste informazioni e tenerne conto nel calcolo del percorso ottimale, attuando quella che viene chiamata "navigazione dinamica" (Dynamic route guidance).
L'architettura di sistema può essere la stessa evidenziata al punto 7.1, mentre la figura 10 riporta la struttura del terminale d'utente.
Nell'implementazione attualmente allo studio, l'interfaccia DAB/sistema di navigazione si incarica di ricevere il flusso totale DAB dall'interfaccia RDI (Receiver Data Interface), di estrarre e decodificare i dati dello specifico servizio e di trasferirli, opportunamente formattati, al sistema di navigazione di bordo il quale si occupa della loro utilizzazione e della eventuale visualizzazione e localizzazione delle informazioni sullo schermo.

Fig. 10 - Terminale d'utente per la sperimentazione dell'integrazione DAB/sistema di navigazione.

8. Servizi interattivi (Progetto europeo MEMO)

I servizi che attuano una interattività piena permettono all'utente di dialogare con il server del fornitore del servizio, richiedendogli la trasmissione di particolari dati.
Un sistema per la diffusione di servizi interattivi a terminali mobili e fissi è stato implementato nell'ambito del progetto ACTS AC054 "MEMO" (Multimedia Environment for Mobiles), parzialmente finanziato

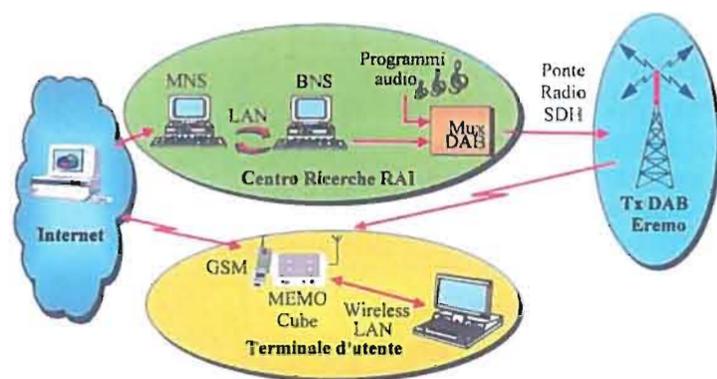



Fig. 11 - Architettura del sistema MEMO sperimentato a Torino.

dalla Comunità Europea, a cui il Centro Ricerche RAI partecipa [6].

Il sistema utilizza un collegamento bidirezionale asimmetrico che combina un percorso diretto a larga banda, basato sul DAB, ed un percorso di interazione a basso bit-rate, basato sul GSM.

Il DAB consente una trasmissione affidabile per la ricezione mobile; inoltre il multiplex DAB è flessibile e può essere riconfigurato in tempo reale, dando la possibilità di avere flussi di dati verso l'utente fino a 1,7 Mbit/s.

Il canale di ritorno via GSM, utilizzato solo per le richieste, ha una capacità di 9,6 kbit/s. Questa non è però una limitazione: molte applicazioni interattive (tra cui la navigazione in Internet) sono di tipo asimmetrico, cioè la quantità di informazione trasmessa dall'utente al service provider sotto forma di richieste è molto inferiore alla quantità di informazione ricevuta dall'utente sul canale diretto.

Il terminale d'utente è basato su un lap-top computer collegato, tramite una wireless LAN, ad un ricevitore DAB, chiamato MEMO Cube, sviluppato appositamente dal progetto, e ad un comune telefono GSM abilitato alla trasmissione di dati.

Le caratteristiche principali del sistema MEMO sono le seguenti:

- Ricezione ed utilizzo di informazioni multimediali in tempo reale da parte di terminali mobili e fissi.
- Interattività: l'utente richiede le informazioni desiderate.
- Possibilità di ricezione simultanea della stessa informazione da parte di un gran numero di utenti.
- Scaricamento veloce di file ad un gruppo limitato di utenti, o anche ad un solo utente.
- Scambio di informazioni tra utenti con terminali mobili (collaborative work, in prospettiva).

Al progetto partecipano aziende di diversi paesi europei, appartenenti alle seguenti aree: radiodiffusori, centri di ricerca, produttori di apparati, operatori di rete, produttori di software, università, fornitori di servizi.

Il sistema è stato sperimentato congiuntamente in Svezia, Germania, Francia e Italia nel mese di ottobre '98.

8.1 MEMO: sperimentazione in Italia

La sperimentazione del progetto MEMO in Italia, curata dal Centro Ricerche RAI, è basata sull'accesso interattivo da parte di terminali mobili ad un Web Server [7]. La figura 11 mostra l'architettura del sistema implementato.

Il bouquet DAB RAI (7 programmi audio) è generato presso il Centro Ricerche RAI. Al servizio MEMO è dedicato un canale dati di 192 kbit/s con protezione 3-A (tab. 2), sostituendo un programma audio del bouquet con il segnale MEMO, generato localmente dal Broadcast Network Server (BNS). Il multiplex è quindi trasferito al trasmettitore DAB di Torino-Eremo usando un ponte radio SDH, e di qui irradiato nell'area di copertura comprendente Torino e parte della pianura Padana.

Il Multi Network Server (MNS), situato anch'esso presso il Centro Ricerche RAI e connesso via LAN al BNS, è un Web server accessibile da ogni client Internet, e contiene l'ipertesto da trasmettere.

I terminali d'utente effettuano le richieste

Tabella 2
Ensemble DAB RAI per la sperimentazione del servizio MEMO

Programma	Bit-rate netto (kbit/s)	Livello di protezione	Bit-rate lordo (kbit/s)
Radiouno	192	3	280
Radiodue	192	4	232
Radiotre	192	3	280
Rete Parlamentare	64	4	84
Isoradio	192	3	280
FD 4	160	3	232
MEMO	192	3-A	288
Totale	**1184**		**1676**

al MNS attraverso la rete Internet, collegandosi al proprio Internet Provider mediante il GSM.

Sul MNS e sul laptop di ricezione sono presenti due applicativi software, sviluppati nell'ambito del progetto, con lo scopo di interfacciare il collegamento Internet con il canale DAB.

Le figure 12 e 13 mostrano gli algoritmi implementati da questi applicativi. L'interfaccia tra MNS e BNS in trasmissione, così come quella tra canale DAB e browser Internet in ricezione, è realizzata a livello di file: ognuno dei moduli della catena MEMO, elaborati i dati, produce un risultato sotto forma di file, che verrà letto e rielaborato dal modulo successivo. Questo modello ha permesso un rapido sviluppo dei componenti del sistema da parte di Organizzazioni diverse, a scapito di qualche inefficienza dal punto di vista delle prestazioni, come verrà illustrato nel prossimo paragrafo.

L'interfaccia verso il browser Internet è trasparente per l'utente: dal suo punto di vista l'applicativo MEMO del ricevitore si comporta come un server proxy.

8.1.1 Verifiche tecniche sul sistema

Prima di effettuare i test nell'area di servizio, il sistema è stato accuratamente esaminato e testato in laboratorio in tutti i suoi componenti (figura 14).

Le verifiche compiute in laboratorio hanno permesso di effettuare, in collaborazione con gli altri Partner del progetto, la messa a punto dei componenti hardware e software del sistema, ancora a livello prototipale, che nelle prime versioni presentavano problemi tecnici.

Le varie parti della connessione MEMO sono state esaminate in dettaglio, ed è stato valutato il tempo necessario ad ogni componente della catena per processare o trasmettere i dati, ricavando il diagramma temporale di una connessione MEMO, riportato nella figura 15. Come si può vedere, tra la richiesta e l'inizio della ricezione dei dati esiste un tempo di attesa fisso (circa 10 s) necessario alla comunicazione tra i vari componenti di questa prima versione del sistema, cosa che riduce le prestazioni complessive.

L'efficienza del sistema aumenta quindi al crescere della dimensione del file richiesto, grazie ad un minor peso percentuale del tempo di attesa.

Un terminale è stato quindi installato in auto allo scopo di verificarne il comportamento in ricezione mobile.

Fig. 12 - Algoritmo dell'applicativo MEMO residente sul MNS.

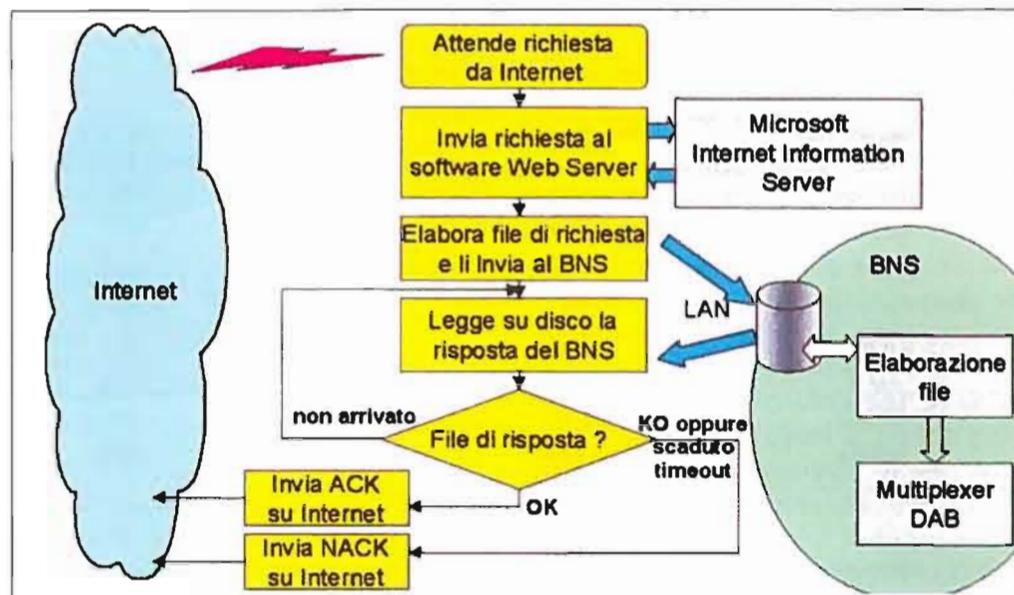
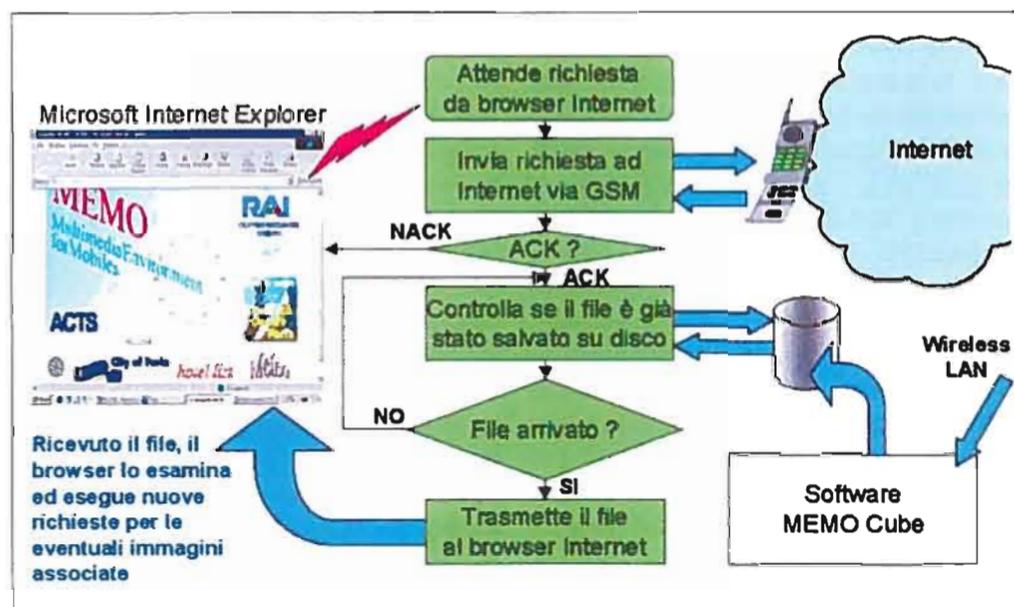



Fig. 13 - Algoritmo dell'applicativo MEMO residente sul laptop di ricezione.

La qualità della ricezione dati (come numero di file non ricevuti correttamente) e le prestazioni rispetto alla connessione GSM anche per il canale diretto sono state valutate.
I file trasmessi tramite DAB sono stati ricevuti correttamente nella maggior parte dei luoghi all'interno dell'area di copertura, anche in ricezione mobile; invece la parte più critica della catena si è rivelata la connessione GSM, che, in ricezione mobile, cade spesso. A causa dell'elevato tempo necessario alla riconnessione, ogni caduta provoca un black-out sul servizio di circa 1 minuto.
In figura 16 vengono presentati tre diversi percorsi in Torino effettuati durante la sperimentazione in movimento del servizio MEMO. Sulla stessa cartina sono riportati i risultati di misure di campo elettromagnetico sul segnale DAB in ricezione mobile effettuate in precedenza.

8.1.2 Dimostrazione del servizio

Ultimate le verifiche tecniche, è stata effettuata una presentazione del sistema ed una dimostrazione del servizio, in ricezione sia fissa che mobile, nei giorni 20 e 21 ottobre 1998. A queste dimostrazioni ha preso parte anche una troupe di *TGR Leonardo*, realizzando il servizio "Radio Interattiva", a cura di Igor Staglianò, trasmesso su RAITRE il 22 ottobre 1998.
La figura 17 riporta una immagine dell'utilizzo del sistema MEMO in auto estratta dal programma.
Per la dimostrazione del servizio è stato utilizzato un ipertesto HTML appositamente creato, contenente notizie ed informazioni varie a carattere turistico, meteorologico, sul traffico, pagine di giornali. Il contenuto dell'ipertesto, di cui la figura 18 riporta la prima pagina, è composto sia da pagine statiche, contenenti informazioni generali, che da pagine aggiornate su base giornaliera.
L'interfaccia utente del servizio MEMO è fornita da un browser Internet standard; tuttavia per l'accesso alla selezione del canale DAB e per realizzare l'interfaccia tra canale broadcast e canale d'interazione è

Fig. 14 - Fotografia del terminale d'utente MEMO (in primo piano), del BNS e degli apparati per la generazione, multiplazione e messa in onda del segnale DAB presso il Centro Ricerche RAI.

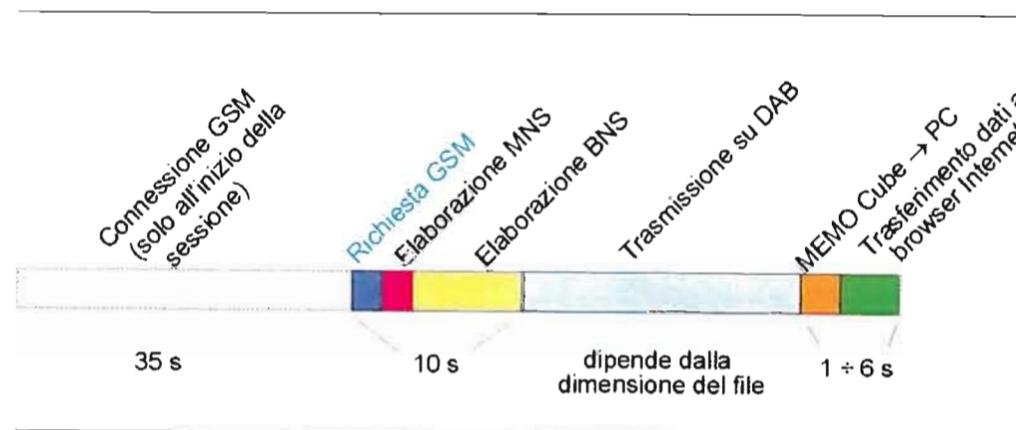



Fig. 15 - Diagramma temporale di una connessione MEMO.

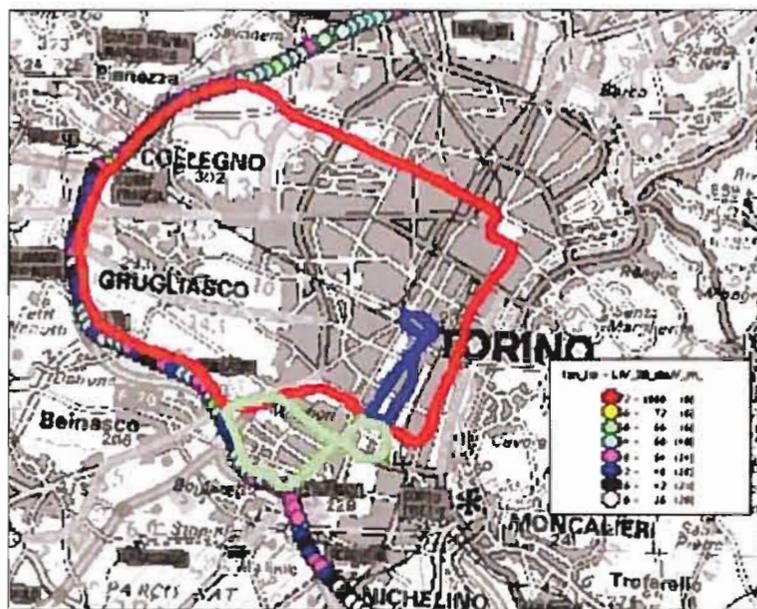



Fig. 16 - Tre diversi percorsi in Torino effettuati durante la sperimentazione in movimento del sistema MEMO.

Fig. 17 - Il sistema MEMO utilizzato in auto. L'immagine è stata estratta da un servizio trasmesso su RAITRE il 22 ottobre 1998 durante il programma *TGR-Leonardo*.

necessario lanciare altri due distinti applicativi software (figura 19).

8.1.3 Possibili sviluppi

La sperimentazione del sistema MEMO, condotta in Italia dal Centro Ricerche RAI, ha permesso di mettere a punto il sistema complessivo e di dimostrare che l'architettura sviluppata permette di fornire un servizio interattivo ad utenti in movimento.

Sono stati inoltre evidenziati alcuni punti che, in questa prima versione del sistema, necessitano di miglioramenti, in particolare:

- difficoltà di utilizzo per utenti non esperti, dovuto alla presenza, sul laptop di ricezione, di distinti applicativi software;
- inefficienza nel reperimento di pagine ricche di figure o frame: il ricevitore le può richiedere al server soltanto dopo aver ricevuto la pagina principale, ed ognuna delle trasmissioni comporta, come visto, un tempo di attesa di circa 10 s.

Questi problemi potranno essere risolti in una versione più matura del sistema con i seguenti accorgimenti:

- una maggiore integrazione dei componenti software permetterebbe minori tempi di attesa;
- un pre-processamento dei files sul MNS consentirebbe di trasmettere pagine già complete delle relative immagini. Il software di ricezione dovrà però essere in grado di ricostruire i singoli file originari.

Anche una evoluzione del terminale d'utente dal punto di vista hardware potrà consentire una maggiore portabilità del sistema: in prospettiva il MEMO Cube potrà essere sostituito da una scheda PCMCIA, alloggiata all'interno del laptop di ricezione. L'aggiunta poi al ricevitore MEMO della capacità di ricezione dei segnali audio DAB, oltre che dei dati, consentirà una completa integrazione dei dispositivi multimediali installati in auto.

L'utilizzo del GPRS (General Packet Radio Service), futura estensione del GSM per la trasmissione di dati, porterà una semplificazione dell'accesso al canale di ritorno riducendo i tempi di attesa e, grazie al suo protocollo di tipo "connectionless", anche i costi per l'utente.

9. Conclusioni

Dopo un accenno alla situazione italiana per quanto riguarda il servizio radiofonico DAB, è stata presentata la sperimentazione in corso al Centro Ricerche RAI sulla introduzione di servizi multimediali e interattivi tramite il DAB, per la ricezione fissa, portatile e mobile.

L'evoluzione verso questi servizi innovativi si colloca all'interno del processo globale di convergenza fra i mondi della Radiodiffusione, delle Telecomunicazioni, dell'Informatica, dell'Elettronica di consumo e di Internet, che è stato avviato dall'introduzione progressiva degli standard DAB e DVB (Digital Video Broadcasting). I nuovi sistemi di radiodiffusione permettono di trasferire su un canale diffusivo una grande quantità di informazioni in forma numerica (o digitale). Questa elevata capacità digitale può essere utilizzata per supportare una ampia gamma di nuovi servizi e non solo i tradizionali servizi radiofonici e televisivi.

La sperimentazione sinora effettuata, condotta in parte nell'ambito del Progetto MEMO parzialmente finanziato dalla Comunità Europea, ha permesso, da un lato, di risolvere i problemi tecnici e sviluppare le opportune architetture di rete, e, dall'altro, di realizzare esempi di servizi innovativi che possono essere attuati con il DAB, fornendo quindi elementi per meglio comprendere l'impatto dei servizi multimediali e interattivi nel contesto della radiodiffusione sonora e televisiva.

Affinché una nuova tecnologia abbia suc-

Fig. 18 - Home-page dell'ipertesto utilizzato per la dimostrazione del servizio MEMO.

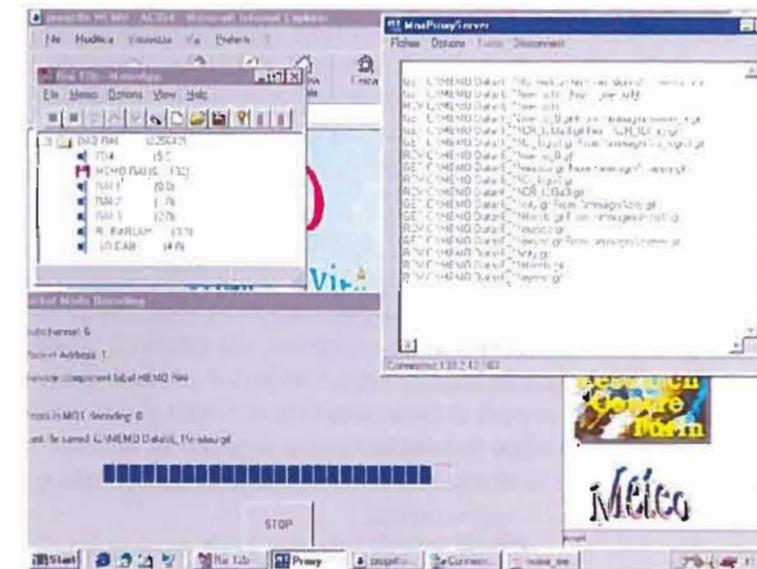



Fig. 19 - L'interfaccia utente: browser Internet con software di controllo della ricezione DAB e dell'interfaccia tra canale diretto e canale d'interazione.

cesso è importante che proponga servizi che siano di gradimento agli utenti. La "*radio multimediale*" basata sul DAB è potenzialmente un nuovo "medium" che offre una ampia flessibilità per la creazione di nuovi programmi e di nuovi servizi, per una offerta più diversificata ed aperta a nuovi bacini di utenza.
La radio multimediale offre la possibilità di trasmettere informazioni correlate col programma di tipo non solo statico, quali quelle che si possono trovare in Internet, ma anche dinamico, cioè sincronizzate con il programma radiofonico.
Per quanto riguarda i servizi indipendenti dal programma e interattivi, il DAB può offrire anche in ricezione mobile capacità trasmissive molto più elevate degli attuali modem su reti telefoniche, rendendo disponibili contemporaneamente a un gran numero di utenti le stesse informazioni. L'implementazione di questi servizi richiede però di riservare parte della capacità totale del bouquet DAB a servizi di tipo non radiofonico. Lo sfruttamento delle nuove potenzialità offerte dal DAB dovrà inoltre tenere conto che l'ascolto radiofonico, per sua natura, è sempre stata una attività passiva. I nuovi programmi multimediali dovranno quindi sempre assicurare un valido contenuto radiofonico, dal momento che, anche se una prevedibile evoluzione dei terminali d'utente radiofonici e televisivi li renderà sempre più simili a computer, non tutti gli ascoltatori potrebbero essere in grado di ricevere le componenti multimediali di un servizio o i nuovi servizi.
Negli attuali ricevitori DAB, la capacità elaborativa richiesta per supportare applicazioni multimediali incide notevolmente sul loro costo. Una soluzione a breve termine a questo problema può essere rappresentata dall'utilizzo di una scheda ricevente per computer o di un computer esterno al ricevitore, il quale si incarica del lavoro addizionale di decodifica e presentazione dei servizi.

L'abbinamento DAB/navigatore di bordo, nel contesto più generale di una evoluzione dei sistemi di informazione a servizio dei trasporti, può offrire interessanti opportunità, realizzando una progressiva integrazione tra le diverse tecnologie presenti a bordo degli autoveicoli.

10. Ringraziamenti

La sperimentazione dei nuovi servizi multimediali nel DAB coinvolge, altre agli autori, un certo numero di persone che si desidera ringraziare: il sig. Francesco Cuccia per aver curato e seguito le applicazioni di tipo PAD, il sig. Renzo Olivazzo per la collaborazione nella realizzazione degli ipertesti, l'ing Silvio Ripamonti e il sig. Arturo Gallo per l'allestimento della catena completa DAB.

Bibliografia

1. - AA.VV: *Numero speciale sul DAB*, "Elettronica e Telecomunicazioni", n° 2 e 3, 1996.

2. - M. Ariaudo, S. Ripamonti, V. Sardella: *Introduction of a T-DAB experimental service in Italy*, "Sounds Digital, Third International Symposium on Digital Audio Broadcasting", Montreux, giugno 1996.

3. - G. Alberico, M. Cominetti: *La multimedialità sui canali diffusivi*, "Alta Frequenza", n° 2, marzo-aprile 1998.

4. - O. Gardiner: *A multimedia future for DAB?*, "IBC '98", Amsterdam, settembre 1998.

5. - ETSI: *EN 301 234 - Digital Audio Broadcasting - Specification of the Multimedia Object Transfer (MOT) Protocol*, "Eureka Project 147", 1998.

6. - W. Klingemberg: *Using a hybrid DAB/GSM communication system to provide interactive multimedia services to mobile users*, "First International Symposium on Wireless Personal Multimedia Communications", Tokyo, novembre 1998.

7. - D. Milanesio: *Sperimentazione del servizio MEMO in Italia*, Centro Ricerche RAI, Relazione Tecnica n° 98/20, dicembre 1998.